HISTOIRE NATURELLE,

GÉNÉRALE ET PARTICULIERE,

PAR LECLERC DE BUFFON;

NOUVELLE EDITION, accompagnée de Notes, et dans laquelle les Supplémens sont insérés dans le premier texte, à la place qui leur convient. L'on y a ajouté l'histoire naturelle des Quadrupèdes et des Oiseaux découverts depuis la mort de Buffon, celle des Reptiles, des Poissons, des Insectes et des Vers; enfin, l'histoire des Plantes dont ce grand Naturaliste n'a pas eu le tems de s'occuper.

OUVRAGE formant un Cours complet d'Histoire Naturelle;

REDIGE PAR C. S. SONNINI,

MEMBRE DE PLUSIEURS SOCIÉTÉS SAVANTES.

TOME CINQUIÈME.

A LONDRES.

CHEZ DEBOFFE, LIBRAIRE.

1799.

INTRODUCTION

A

L'HISTOIRE DES MINÉRAUX.

SECOND MÉMOIRE.

Suite des expériences sur le progrès de la chaleur dans les différentes substances minérales.

J'AI fait faire un grand nombre de globes, tous d'un pouce de diamètre, le plus précisément qu'il a été possible, des matières suivantes, qui peuvent représenter ici à peu près le règne minéral.

Or le plus pur, affiné par les soins de M. Tillet, de l'académie des sciences, qui a fait travailler ce globe à ma prière,

	onces.	gros.	grains.
pèse	6.	2.	17.
Plomb, pèse	3.	6.	28.
Argent le plus pur, travaillé de même, pèse	3.	3.	22.
Bismuth, pèse	3.	0.	3.
Cuivre rouge, pèse	2.	7.	56.
Fer, pèse	2.	5.	10.

	onces.	gros.	grains.
Étain, pèse	2.	3.	48.
Antimoine fondu, et qui avoit des petites cavités à sa surface, pèse	2.	1.	34.
Zinc, pèse	2.	1.	2.
Émeril, pèse	1.	2.	24 ½.
Marbre blanc, pèse	1.	0.	25.
Grès pur, pèse	0.	7.	24.
Marbre commun de Montbard, pèse	0.	7.	20.
Pierre calcaire dure et grise, de Montbard, pèse	0.	7.	20.
Gypse blanc, improprement appelé *albâtre*, pèse	0.	6.	36.
Pierre calcaire blanche, statuaire, de la carrière d'Anières, près de Dijon, pèse	0.	6.	36.
Cristal de roche; il étoit un peu trop petit, et il y avoit plusieurs défauts et quelques petites fêlures à sa surface: je présume que sans cela il auroit pesé plus d'un gros de plus; il pèse	0.	6.	22.
Verre commun, pèse	0.	6.	21.
Terre glaise pure non cuite, mais très-sèche, pèse	0.	6.	16.

	onces.	gros.	grains.
Ocre, pèse..............	o.	5.	9.
Porcelaine de M. le comte de Lauraguais, pèse.........	o.	5.	2 ½.
Craie blanche, pèse......	o.	4.	49.
Pierre-ponce avec plusieurs petites cavités à sa surface, pèse......................	o.	1.	69.
Bois de cerisier qui, quoique plus léger que le chêne et la plupart des autres bois, est celui de tous qui s'altère le moins au feu, pèse................	o.	1.	55.

Je dois avertir qu'il ne faut pas compter assez sur les poids rapportés dans cette table, pour en conclure la pesanteur spécifique exacte de chaque matière; car, quelque précaution que j'aie prise pour rendre les globes égaux, comme il a fallu employer des ouvriers de différens métiers, les uns me les ont rendus trop gros et les autres trop petits. On a diminué ceux qui avoient plus d'un pouce de diamètre; mais quelques uns, qui étoient un tant soit peu trop petits, comme ceux de cristal de roche, de verre et de porcelaine, sont demeurés tels qu'ils

étoient ; j'ai seulement rejeté ceux d'agate, de jaspe, de porphyre et de jade qui étoient sensiblement trop petits. Néanmoins ce dégré de précision de grosseur, très-difficile à saisir, n'étoit pas absolument nécessaire, car il ne pouvoit changer que très-peu le résultat de mes expériences.

Avant d'avoir commandé tous ces globes d'un pouce de diamètre, j'avois exposé à un même dégré de feu une masse carrée de fer et une autre de plomb de deux pouces dans toutes leurs dimensions, et j'avois trouvé, par des essais réitérés, que le plomb s'échauffoit plus vîte et se refroidissoit en beaucoup moins de tems que le fer. Je fis la même épreuve sur le cuivre rouge. Il faut aussi plus de tems pour l'échauffer et pour le refroidir, qu'il n'en faut pour le plomb et moins que pour le fer; en sorte que de ces trois matières, le fer me parut celle qui est la moins accessible à la chaleur, et en même tems celle qui la retient le plus long-tems. Ceci me fit connoître que la loi du progrès de la chaleur, c'est-à-dire, de son entrée et de sa sortie dans les corps, n'étoit point du tout proportionnelle à leur densité, puisque le plomb, qui est plus dense que le fer et le cuivre, s'échauffe néanmoins et

se refroidit en moins de tems que ces deux autres métaux. Comme cet objet me parut important, je fis faire mes petits globes, pour m'assurer plus exactement, sur un grand nombre de différentes matières, du progrès de la chaleur dans chacune. J'ai toujours placé les globes à un pouce de distance les uns des autres devant le même feu ou dans le même four, deux ou trois, quatre ou cinq, etc., ensemble, pendant le même tems avec un globe d'étain au milieu des autres. Dans la plupart des expériences, je les laissois exposés à la même action du feu jusqu'à ce que le globe d'étain commençât à fondre, et dans ce moment on les enlevoit tous ensemble, et on les posoit sur une table dans de petites cases préparées pour les recevoir; je les y laissois refroidir sans les bouger, en essayant assez souvent de les toucher, et au moment qu'ils commençoient à ne plus brûler les doigts, et que je pouvois les tenir dans ma main pendant une demi-seconde, je marquois le nombre des minutes qui s'étoient écoulées depuis qu'ils étoient retirés du feu; ensuite je les laissois tous refroidir au point de la température actuelle, dont je tâchois de juger par le moyen d'autres petits globes de même ma-

boulets avec un nouveau boulet d'étain, se sont refroidis dans l'ordre suivant.

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Etain, en..........	$7\frac{1}{2}$.	En................	25.
Plomb, en.........	$9\frac{1}{2}$.	En................	35.
Grès, en..........	$10\frac{1}{2}$.	En................	37.
Marbre commun, en.	12.	En................	39.
Cuivre, en........	14.	En................	44.
Fer, en...........	17.	En................	50.

De ces expériences que j'ai faites avec autant de précision qu'il m'a été possible, on peut conclure :

1°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du cuivre au point de les tenir : : $53\frac{1}{2}$: 45, et au point de la température : : 142 : 125.

2°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du premier refroidissement du marbre commun : : $53\frac{1}{2}$: $35\frac{1}{2}$, et au point de leur refroidissement entier : : 142 : 110.

3°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du grès, au point de pouvoir les tenir : : $53\frac{1}{2}$: 32, et : : 142 : $102\frac{1}{2}$ pour leur entier refroidissement.

4°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du plomb, au point de les tenir : : 53 $\frac{1}{2}$: 27, et : : 142 : 94 $\frac{1}{2}$ pour leur entier refroidissement.

V.

Comme il n'y avoit que deux expériences pour la comparaison du fer à l'étain, j'ai voulu en faire une troisième dans laquelle l'étain s'est refroidi à le tenir dans la main en 8 minutes; et en entier, c'est-à-dire, à la température, en 32 minutes; et le fer s'est refroidi à le tenir sur la main en 18 minutes, et refroidi en entier en 48 minutes; au moyen de quoi la proportion trouvée par trois expériences, est :

1°. Pour le premier refroidissement du fer comparé à celui de l'étain : : 48 : 22, et : : 136 : 73 pour leur entier refroidissement.

2°. Que les tems du refroidissement du cuivre, sont à ceux du refroidissement du marbre commun : : 45 : 35 $\frac{1}{2}$ pour le premier refroidissement, et : : 125 : 110 pour le refroidissement à la température.

3°. Que les tems du refroidissement du cuivre sont à ceux du refroidissement du

grès : : 45 : 33 pour le premier refroidissement, et : : 125 : 102 pour le refroidissement à la température actuelle.

4°. Que les tems du refroidissement du cuivre sont à ceux du refroidissement du plomb : : 45 : 27 pour le premier refroidissement, et : : 125 : 94 $\frac{1}{2}$ pour le refroidissement entier.

V I.

Comme il n'y avoit, pour la comparaison du cuivre et de l'étain, que deux expériences, j'en ai fait une troisième, dans laquelle le cuivre s'est refroidi, à le tenir dans la main en 18 minutes, et en entier en 49 minutes ; et l'étain s'est refroidi au premier point en 8 $\frac{1}{2}$ minutes ; et au dernier, en 30 minutes ; d'où l'on peut conclure :

1°. Que le tems du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : 43 $\frac{1}{2}$: 22 $\frac{1}{2}$, et : : 123 : 71 pour leur entier refroidissement.

2°. On peut de même conclure des expériences précédentes, que le tems du refroidissement du marbre commun, est à celui du refroidissement du grès, au point de pouvoir

les tenir : : 36 $\frac{1}{2}$: 32, et : : 110 : 102 pour leur entier refroidissement.

3°. Que le tems du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : 36 $\frac{1}{2}$: 28, et : : 110 : 94 $\frac{1}{2}$ pour le refroidissement entier.

V I I.

Comme il n'y avoit, pour la comparaison du marbre commun et de l'étain, que deux expériences, j'en ai fait une troisième dans laquelle l'étain s'est refroidi, à le tenir dans la main en 9 minutes, et le marbre en 11 minutes; et l'étain s'est refroidi en entier en 22 $\frac{1}{2}$ minutes, et le marbre en 33 minutes. Ainsi les tems du refroidissement du marbre, sont à ceux du refroidissement de l'étain, comme 33 est à 24 $\frac{1}{2}$ pour le premier refroidissement, et : : 93 : 64 pour le second refroidissement.

V I I I.

Comme il n'y avoit que deux expériences pour la comparaison du grès et du plomb avec l'étain, j'en ai fait une troisième en faisant chauffer ensemble ces trois boulets de

grès, de plomb et d'étain qui se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Etain, en.........	$7\frac{1}{2}$.	En.................	23.
Plomb, en.........	$8\frac{1}{2}$.	En.................	27.
Grès, en..........	$10\frac{1}{2}$.	En.................	28.

Ainsi on peut en conclure :

1°. Que le tems du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : $25\frac{1}{2}$: $21\frac{1}{2}$, et : : $79\frac{1}{2}$: 64 pour leur refroidissement entier.

2°. Que le tems du refroidissement du grès est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : 30 : $21\frac{1}{2}$, et : : 84 : 64 pour leur entier refroidissement.

3°. De même on peut conclure, par les quatre expériences précédentes, que le tems du refroidissement du grès est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : $42\frac{1}{2}$: $35\frac{1}{2}$, et : : 130 : $121\frac{1}{2}$ pour leur entier refroidissement.

I X.

Dans un four chauffé au point de fondre l'étain,

l'étain, quoique toute la braise et les cendres en eussent été retirées, j'ai fait placer, sur un support de fer-blanc traversé de fil-de-fer, cinq boulets éloignés les uns des autres d'environ 9 lignes, après quoi on a fermé le four; et les ayant retirés au bout de 15 minutes, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Étain fondu par sa partie d'en bas, en...	8.	En................	24.
Argent, en.........	14.	En................	40.
Or, en............	15.	En................	46.
Cuivre, en.........	16½.	En................	50.
Fer, en............	18.	En................	56.

X.

Dans le même four, mais à un moindre dégré de chaleur, les mêmes boulets avec un autre boulet d'étain, se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Etain, en..........	7.	En................	20.
Argent, en.........	11.	En................	31.
Or, en.............	12½.	En................	40.
Cuivre, en.........	14.	En................	43.
Fer, en............	16½.	En................	47.

X I.

Dans le même four et à un dégré de chaleur encore moindre, les mêmes boulets se sont refroidis dans les proportions suivantes :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		*Refroidis à la température.*	
	minutes.		minutes.
Etain, en.........	6.	En.................	17.
Argent, en........	9.	En.................	26.
Or, en............	$9\frac{1}{2}$.	En.................	28.
Cuivre, en........	10.	En.................	31.
Fer, en...........	11.	En.................	35.

On doit conclure de ces expériences :

1°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du cuivre, au point de les tenir : : $11 + 16\frac{1}{2} + 18$, : $10 + 14 + 16\frac{1}{2}$, ou : : $45\frac{1}{2}$: $40\frac{1}{2}$ par les trois expériences présentes ; et comme ce rapport a été trouvé par les expériences précédentes, (*art. IV*) : : $53\frac{1}{2}$: 45, on aura, en ajoutant ces tems, 99 à $85\frac{1}{2}$ pour le rapport encore plus précis du premier refroidissement du fer et du cuivre; et pour le second, c'est-à-dire, pour le refroidissement entier, le rapport donné par les présentes

expériences étant : : 35 + 47 + 56 : 31 + 43 + 50, ou : : 138 : 24, et : : 142 : 125. Par les expériences précédentes (*art. IV*), on aura, en ajoutant ces tems, 280 à 249 pour le rapport encore plus précis du refroidissement entier du fer et du cuivre.

2°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de l'or, au point de pouvoir les tenir : : 45 $\frac{1}{2}$: 37, et au point de la température : : 138 : 114.

3°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de l'argent, au point de pouvoir les tenir : : 45 $\frac{1}{2}$: 34, et au point de la température : : 138 : 97.

4°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : 45 $\frac{1}{2}$: 21 par les présentes expériences, et : : 24 : 11 par les expériences précédentes (*art. V*); ainsi l'on aura, en ajoutant ces tems, 69 $\frac{1}{2}$ à 32 pour le rapport encore plus précis de leur refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes étant : : 138 : 61, et par les expériences précédentes (*art. V*) : : 136 : 73; on aura, en ajoutant ces tems, 274 à 134 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et de l'étain.

5°. Que le tems du refroidissement du cuivre est à celui de l'or, au point de pouvoir les tenir : : 40 $\frac{1}{2}$: 37, et : : 124 : 114 pour leur entier refroidissement.

6°. Que le tems du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de l'argent, au point de pouvoir les tenir : : 40 $\frac{1}{2}$: 34, et : : 124 : 97 pour leur entier refroidissement.

7°. Que le tems du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : 40 $\frac{1}{2}$: 21 par les présentes expériences, et : : 43 $\frac{1}{2}$: 22 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. VI*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 84 à 43 $\frac{1}{2}$ pour le rapport encore plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 124 : 61, et : : 123 : 71 par les expériences précédentes (*art. VI*); on aura, en ajoutant ces tems, 247 à 132 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du cuivre et de l'étain.

8°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de l'argent, au point de pouvoir les tenir : : 37 : 34, et : : 114 : 97 pour leur entier refroidissement.

9°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : 37 : 21 : : 114 : 61 pour leur entier refroidissement.

10°. Que le tems du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : 34 : 21, et : : 97 : 61 pour leur entier refroidissement.

X I I.

Ayant mis dans le même four cinq boulets, placés de même et séparés les uns des autres ; leur refroidissement s'est fait dans les proportions suivantes :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Antimoine, en	$6\frac{1}{2}$.	En	25.
Bismuth, en	7.	En	26.
Plomb, en	8.	En	27.
Zinc, en	$10\frac{1}{2}$.	En	30.
Emeril, en	$11\frac{1}{2}$.	En	38.

X I I I.

Ayant répété cette expérience avec un dégré de chaleur plus fort, et auquel l'étain et le bismuth se sont fondus, les autres

boulets se sont refroidis dans la progression suivante :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Antimoine, en.....	$7\frac{1}{2}$.	En..................	28.
Plomb, en.........	$9\frac{1}{2}$.	En..................	39.
Zinc, en..........	14.	En..................	44.
Emeril, en........	16.	En..................	50.

X I V.

On a placé dans le même four et de la même manière un autre boulet de bismuth, avec six autres boulets qui se sont refroidis dans la progression suivante :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Antimoine ; en......	6.	En..................	23
Bismuth, en.......	6.	En..................	25.
Plomb ; en........	$7\frac{1}{2}$.	En..................	28
Argent ; en.......	$9\frac{1}{2}$.	En..................	30
Zinc ; en.........	$10\frac{1}{2}$.	En..................	32.
Or, en............	11.	En..................	32.
Emeril, en........	$13\frac{1}{2}$.	En..................	39.

X V.

Ayant répété cette expérience avec les

sept mêmes boulets, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Antimoine, en.....	$6\frac{1}{2}$.	En................	23.
Bismuth, en	$7\frac{1}{2}$.	En................	31.
Plomb, en.........	$7\frac{1}{2}$.	En................	29.
Argent, en........	$11\frac{1}{2}$.	En................	32.
Zinc, en	$13\frac{1}{2}$.	En................	38.
Or, en	14.	En................	41.
Emeril, en........	15.	En................	44.

Toutes ces expériences ont été faites avec soin et en présence de deux ou trois personnes qui ont jugé comme moi par le tact, et en serrant dans la main, pendant une demi-seconde les différens boulets ; ainsi l'on doit en conclure :

1°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'or, au point de pouvoir les tenir : : 28 $\frac{1}{2}$: 25, et : : 83 : 73 pour leur entier refroidissement.

2°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du zinc, au point de pouvoir les toucher : : 56 : 48 $\frac{1}{2}$, et : : 171 : 144 pour leur entier refroidissement.

3°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'argent, au point de pouvoir les tenir : : 28 $\frac{1}{2}$: 21, et : : 83 : 62 pour leur entier refroidissement.

4°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du plomb, au point de les tenir : : 56 : 32 $\frac{1}{2}$, et : : 171 : 123 pour leur entier refroidissement.

5°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du bismuth, au point de les tenir : : 40 : 20 $\frac{1}{2}$, et : : 121 : 80 pour leur entier refroidissement.

6°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir : : 56 : 26 $\frac{1}{2}$, et à la température : : 171 : 99.

7°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du zinc, au point de les tenir : : 25 : 24, et : : 73 : 70 pour leur entier refroidissement.

8°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de l'argent, au point de pouvoir les tenir : : 25 : 21 par les présentes expériences, et : : 37 : 34 par les expériences précédentes (*article*

XI); ainsi l'on aura, en ajoutant ces tems, 62 à 55 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second; le rapport donné par les présentes expériences étant : : 73 : 62, et : : 114 : 97 par les expériences précédentes (*article XI*); on aura, en ajoutant ces tems, 187 : 159 pour le rapport plus précis de leur entier refroidissement.

9°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : 25 : 15, et : : 73 : 57 pour leur entier refroidissement.

10°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les tenir : : 25 : 13 $\frac{1}{2}$, et : : 73 : 56 pour leur entier refroidissement.

11°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les tenir : : 25 : 12 $\frac{1}{2}$, et : : 73 : 46 pour leur entier refroidissement.

12°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de l'argent, au point de pouvoir les tenir : : 24 :

21, et : : 70 : 62 pour leur entier refroidissement.

13°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : 48 $\frac{1}{2}$: 32 $\frac{1}{2}$, et : : 144 : 123 pour leur entier refroidissement.

14°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les tenir : : 34 $\frac{1}{2}$: 20 $\frac{1}{2}$, et : : 100 : 80 pour leur entier refroidissement.

15°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les tenir : : 48 $\frac{1}{2}$: 26 $\frac{1}{2}$ et à la température : : 144 : 99.

16°. Que le tems du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les tenir : : 21 : 13 $\frac{1}{2}$ et : : 62 : 56 pour leur entier refroidissement.

17°. Que le tems du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les tenir : : 21 : 12 $\frac{1}{2}$, et : : 62 : 46 pour leur entier refroidissement.

18°. Que le tems du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement du bismuth, au point de les tenir : : 23

: 20 $\frac{1}{2}$, et : : 84 : 80 pour leur entier refroidissement.

19°. Que le tems du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les toucher : : 32 $\frac{1}{2}$: 26 $\frac{1}{2}$, et à la température : : 123 : 99.

20°. Que le tems du refroidissement du bismuth est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir : : 20 $\frac{1}{2}$: 19, et : : 80 : 71 pour leur entier refroidissement.

Je dois observer qu'en général, dans toutes ces expériences, les premiers rapports sont bien plus justes que les derniers, parce qu'il est difficile de juger du refroidissement jusqu'à la température actuelle, et que cette température étant variable, les résultats doivent varier aussi; au lieu que le point du premier refroidissement peut être saisi assez juste par la sensation que produit sur la même main la chaleur du boulet, lorsqu'on peut le tenir ou le toucher pendant une demi-seconde.

X V I.

Comme il n'y avoit que deux expériences pour la comparaison de l'or avec l'émeril, le zinc, le plomb, le bismuth et l'antimoine;

que le bismuth s'étoit fondu en entier, et que le plomb et l'antimoine étoient fort endommagés; je me suis servi d'autres boulets de bismuth, d'antimoine et de plomb, et j'ai fait une troisième expérience, en mettant ensemble, dans le même four bien chauffé, ces deux boulets; ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Antimoine, en	7.	En..................	27.
Bismuth, en........	8.	En..................	29.
Plomb, en..........	9.	En..................	33.
Zinc, en...........	12.	En..................	37.
Or, en.............	13.	En..................	42.
Emeril, en	$15\frac{1}{2}$.	En..................	48.

D'où l'on doit conclure, ainsi que des expériences XIV et XV. 1°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'or, au point de pouvoir les tenir : : 44 : 38, et au point de la température : : 131 : 115.

2°. Que le tems du refroidissement de l'émeril, est à celui du refroidissement du zinc, au point de pouvoir les tenir : : $15\frac{1}{2}$: 12; mais le rapport trouvé par les expériences précédentes (*art. XV*) étant : : 56

: 48 ½, on aura, en ajoutant ces tems, 71 ½ à 60 ½ pour leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport trouvé par l'expérience présente, étant : : 48 : 37, et par les expériences précédentes (*art. XV*) comme 171 à 144; ainsi en ajoutant ces tems, on aura 239 à 181 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et du zinc.

3°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : 15 ½ : 9, mais le rapport trouvé par les expériences précédentes (*art. XV*) étant : : 56 : 32 ½; ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 71 ½ à 41 ½ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience précédente, étant : : 48 : 33, et par les expériences précédentes (*art. XV*) : : 171 : 123, on aura, en ajoutant ces tems, 239 à 156 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et du plomb.

4°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les tenir : : 15 ½ : 8; et par les expériences précédentes (*art. XV*) : : 40 : 20 ½; ainsi on

aura, en ajoutant ces tems, 55 ½ à 28 ½, pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente, étant : : 48 : 29, et : : 121 : 80 par les expériences précédentes (*art. XV*); on aura, en ajoutant ces tems, 169 à 109 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et du bismuth.

5°. Que le tems du refroidissement de l'émeril, est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir : : 15 ½ : 7, mais le rapport trouvé par les expériences précédentes (*art. XV*) étant : : 56 : 26 ½; on aura, en ajoutant ces tems, 71 ½ à 33 ½ pour le rapport encore plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente, étant : : 48 : 27, et : : 171 : 99 par les expériences précédentes (*art. XV*); on aura, en ajoutant ces tems, 219 à 126 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et de l'antimoine.

6°. Que le temps du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du zinc, au point de pouvoir les tenir : : 38 : 36,

et : : 115 : 107 pour leur entier refroidissement.

7°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du plomb, au point de les toucher : : 38 : 24, et à la température : : 115 : 90.

8°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les tenir : : 38 : 21 $\frac{1}{2}$, et à la température : : 115 : 85.

9°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les toucher : : 38 : 19 $\frac{1}{2}$ et à la température : : 115 : 69.

10°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : 12 : 9. Mais le rapport trouvé par les expériences précédentes (*art. XV*) étant : : 48 $\frac{1}{2}$: 32 $\frac{1}{2}$, on aura, en ajoutant ces tems, 60 $\frac{1}{2}$ à 41 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 37 : 33, et par les expériences précédentes (*art. XV*) : : 144 : 123; on aura, en ajoutant ces tems, 181 à 156 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et du plomb.

11°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du bismuth, au point de les toucher : : 12 : 8 par la présente expérience ; mais le rapport trouvé par les expériences précédentes (*art. XV*) étant : : 34 $\frac{1}{2}$: 20 $\frac{1}{2}$; en ajoutant ces temps, on aura 46 $\frac{1}{2}$ à 28 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 37 : 29, et par les expériences précédentes (*art. XV*) : : 100 : 80 : on aura, en ajoutant ces tems, 137 à 109 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et du bismuth.

12°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de l'antimoine, pour pouvoir les tenir : : 12 : 7 par la présente expérience ; mais comme le rapport trouvé par les expériences précédentes (*art. XV*) est : : 48 $\frac{1}{2}$: 26 $\frac{1}{2}$; on aura, en ajoutant ces tems, 60 $\frac{1}{2}$ à 33 $\frac{1}{2}$ pour le rapport encore plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente, étant : : 37 : 27, et : : 144 : 99 par les expériences précédentes (*art. XV*) ; on aura, en ajoutant ces tems, 181 à 126 pour le rapport plus

plus précis de l'entier refroidissement du zinc et de l'antimoine.

13°. Que le tems du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les tenir :: 9 : 8 par l'expérience présente, et :: 23 : 20 ½ par les expériences précédentes (*art. XV*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 32 à 28 ½ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant :: 33 : 29, et :: 84 : 80 par les expériences précédentes (*art. XV*); on aura, en ajoutant ces tems, 117 à 109 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du plomb et du bismuth.

14°. Que le tems du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les tenir :: 9 : 7 par la présente expérience, et :: 32 ½ : 26 ½ par les expériences précédentes (*art. XV*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 41 ½ à 33 ½ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant :: 33 : 27, et :: 123 : 99 par les expériences précédentes (*art. XV*);

on aura, en ajoutant ces tems, 156 à 126 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du plomb et de l'antimoine.

15°. Que le tems du refroidissement du bismuth est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir :: 8 : 7 par l'expérience présente, et :: 20 $\frac{1}{2}$: 19 par les expériences précédentes (*art. XV*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 28 $\frac{1}{2}$ à 26 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente, étant :: 29 : 27, et :: 80 : 71 par les expériences précédentes (*art. XV*); on aura, en ajoutant ces tems, 109 à 98 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du bismuth et de l'antimoine.

XVII.

Comme il n'y avoit de même que deux expériences pour la comparaison de l'argent avec l'émeril, le zinc, le plomb, le bismuth et l'antimoine, j'en ai fait une troisième, en mettant dans le même four, qui s'étoit un peu refroidi, les six boulets ensemble, et après les en avoir tirés tous en même

tems, comme on l'a toujours fait, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Antimoine, en.....	6.	En................	29.
Bismuth, en.......	7.	En................	31.
Plomb, en.........	$8\frac{1}{4}$.	En................	34.
Argent, en........	$11\frac{1}{2}$.	En................	36.
Zinc, en..........	$12\frac{1}{2}$.	En................	39.
Emeril, en........	$15\frac{1}{2}$.	En................	47.

On doit conclure de cette expérience et de celles des *articles XIV* et *XV*,

1°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du zinc, au point de les tenir, par l'expérience présente :: $15\frac{1}{2}$: $12\frac{1}{2}$, et :: $71\frac{1}{2}$: $60\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. XVI*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 83 à 73 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant :: 47 : 39, et par les expériences précédentes (*art. XVI*) :: 239 : 181; on aura, en ajoutant ces tems, 286 à 220 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et du zinc.

2°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'argent : : 44 : 32 $\frac{1}{2}$ au point de les tenir, et : : 130 : 98 pour leur entier refroidissement.

3°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du plomb, au point de les tenir : : 15 $\frac{1}{2}$: 8 $\frac{1}{4}$ par l'expérience présente, et : : 71 $\frac{1}{2}$: 41 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. XVI*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 87 à 49 $\frac{3}{4}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 47 : 34, et : : 239 : 156 par les expériences précédentes (*art. XVI*); on aura, en ajoutant ces tems, 286 à 190 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et du plomb.

4°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les tenir : : 15 $\frac{1}{2}$: 7 par l'expérience présente, et : : 55 $\frac{1}{2}$: 28 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. XVI*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 71 à 35 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par

l'expérience présente, étant :: 47 : 31, et :: 169 à 109 par les expériences précédentes (*art. XVI*); on aura, en ajoutant ces tems, 216 à 140 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et du bismuth.

5°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les tenir :: 15 ½ : 6 par l'expérience présente, et :: 71 ½ : 33 ½ par les expériences précédentes (*art. XVI*); ainsi en ajoutant ces tems, on aura 87 à 39 ½ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant :: 47 : 29, et par les expériences précédentes (*art. XVI*) :: 219 : 126; on aura, en ajoutant ces tems, 266 à 155 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et de l'antimoine.

6°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de l'argent, au point de les tenir :: 36 ½ : 32 ½; et :: 109 : 98 pour leur entier refroidissement.

7°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du plomb,

au point de pouvoir les tenir :: 12 $\frac{1}{2}$: 8 $\frac{1}{4}$ par l'expérience présente, et :: 60 $\frac{1}{2}$: 41 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. XVI*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 73 à 43 $\frac{3}{4}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant :: 39 : 33, et par les expériences précédentes (*art. XVI*) :: 181 : 156, on aura, en ajoutant ces tems, 220 à 189 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et du plomb.

8°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les tenir :: 12 $\frac{1}{2}$: 7 par la présente expérience; et :: 46 $\frac{1}{2}$: 28 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. XVI*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 59 à 35 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant :: 39 : 31, et :: 137 : 109 par les expériences précédentes (*art. XVI*); on aura, en ajoutant ces tems, 176 à 140 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et du bismuth.

9°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de l'an-

timoine, au point de les tenir : : 12 $\frac{1}{2}$: 6 par la présente expérience ; et : : 60 $\frac{1}{2}$: 33 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. XVI*) ; ainsi on aura, en ajoutant ces tems 73 à 39 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport trouvé par l'expérience présente étant : : 39 : 29, et : : 181 : 126 par les expériences précédentes (*art. XVI*) ; on aura, en ajoutant ces tems, 220 à 155 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et de l'antimoine.

10°. Que le tems du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : 32 $\frac{1}{2}$: 23 $\frac{1}{4}$, et : : 98 : 90 pour leur entier refroidissement.

11°. Que le tems du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du bismuth, au point de les tenir : : 32 $\frac{1}{2}$: 20 $\frac{1}{2}$, et : : 98 : 87 pour leur entier refroidissement.

12°. Que le tems du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir : : 32 $\frac{1}{2}$: 18 $\frac{1}{2}$, et : : 98 : 75 pour leur entier refroidissement.

13°. Que le tems du refroidissement du

plomb est à celui du refroidissement du bismuth, au point de les tenir : : 8 $\frac{1}{4}$: 7 par la présente expérience, et : : 32 : 28 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. XVI*); on aura, en ajoutant ces tems 40 $\frac{1}{4}$ à 35 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 34 : 31, et : : 117 : 109 par les expériences précédentes (*art. XVI*); on aura, en ajoutant ces tems, 141 à 140 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du plomb et du bismuth.

14°. Que le tems du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir : : 8 $\frac{1}{4}$: 6 par l'expérience présente, et par les expériences précédentes (*art. XVI*) : : 41 $\frac{1}{2}$: 33 $\frac{1}{2}$; ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 49 $\frac{3}{4}$ à 39 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 34 : 29, et : : 156 : 126 par les expériences précédentes (*art. XVI*); on aura, en ajoutant ces tems, 190 à 155 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du plomb et de l'antimoine.

15°. Que le tems du refroidissement du bismuth est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir :: 7 : 6 par la présente expérience, et :: 28 $\frac{1}{2}$: 26 par les expériences précédentes (*art. XVI*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 35 $\frac{1}{2}$: 32 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant :: 31 : 29, et :: 109 : 98 par les expériences précédentes (*art. XVI*); on aura, en ajoutant ces tems, 140 à 127 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du bismuth et de l'antimoine.

XVIII.

On a mis dans le même four un boulet de verre, un nouveau boulet d'étain, un de cuivre et un de fer pour en faire une première comparaison, et ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Etain, en.........	8.	En.	27.
Verre, en.........	8$\frac{1}{2}$.	En.	22.
Cuivre, en.........	14.	En.	42.
Fer, en...........	16.	En.	50.

X I X.

La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		*Refroidis à la température.*	
	minutes.		minutes.
Etain, en	$7\frac{1}{2}$.	En.	21.
Verre, en..........	8.	En.	23.
Cuivre, en........	12.	En.	36.
Fer, en...........	15.	En.	47.

X X.

Par une troisième expérience, les boulets chauffés pendant un plus long tems, mais à une chaleur un peu moindre, se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		*Refroidis à la température.*	
	minutes.		minutes.
Etain, en.........	$8\frac{1}{2}$.	En.................	22.
Verre, en.........	9.	En.................	24.
Cuivre, en........	15.	En.................	43.
Fer, en...........	17.	En.................	46.

X X I.

Par une quatrième expérience répétée, les mêmes boulets chauffés à un feu plus

ardent, se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Etain, en..........	$8\frac{1}{2}$.	En.................	25.
Verre, en.........	9.	En.................	25.
Cuivre, en........	$11\frac{1}{2}$.	En.................	35.
Fer, en...........	14.	En.................	43.

Il résulte de ces expériences répétées quatre fois :

1°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du cuivre, au point de les tenir : : 62 : 52 $\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : 99 : 85 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. XI*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 161 à 138 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 186 : 156, et par les expériences précédentes (*art. XI*) : : 280 : 249; on aura, en ajoutant ces tems, 466 à 405 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et du cuivre.

2°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du verre,

au point de les tenir : : 62 : 34 $\frac{1}{2}$, et : : 186 : 97 pour leur entier refroidissement.

3°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : 62 : 32 $\frac{1}{2}$ par les présentes expériences ; et : : 69 $\frac{1}{2}$: 32 par les expériences précédentes (*art. XI*) ; ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 131 $\frac{1}{2}$ à 64 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes étant : : 186 : 92, et : : 274 : 134 par les expériences précédentes (*art. XI*) ; on aura en ajoutant ces tems, 460 à 226 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et de l'étain.

4°. Que le tems du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement du verre au point de les tenir : : 51 $\frac{1}{2}$: 34 $\frac{1}{2}$, et : : 157 : 97 pour leur entier refroidissement.

5°. Que le tems du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : 52 $\frac{1}{2}$: 32 $\frac{1}{2}$ par les expériences présentes ; et : : 84 : 43 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. XI*) ; ainsi on aura en ajoutant ces tems, 136 $\frac{1}{2}$ à 76 pour le rapport précis de

leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes étant : : 157 : 92, et par les expériences précédentes (*art. XI*) : : 247 : 132 ; on aura, en ajoutant ces tems, 304 à 224 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du cuivre et de l'étain.

6°. Que le tems du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir : : 24 $\frac{1}{2}$: 32 $\frac{1}{2}$, et : : 97 : 92 pour leur entier refroidissement.

XXII.

On a fait chauffer ensemble les boulets d'or, de verre, de porcelaine, de gypse et de grès, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes	*Refroidis à la température.*	minutes
Gypse, en.........	5.	En................	14.
Porcelaine, en.....	8½.	En................	25.
Verre, en.........	9.	En................	26.
Grès, en..........	10.	En................	32.
Or, en............	14½.	En................	45.

XXIII.

La même expérience répétée sur les

mêmes boulets, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Gypse, en.........	4.	En.................	13.
Porcelaine, en.....	7.	En.................	22.
Verre, en.........	$9\frac{1}{2}$.	En.................	24.
Grès, en..........	$9\frac{1}{2}$.	En.................	33.
Or, en............	$13\frac{1}{2}$.	En.................	41.

XXIV.

La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Gypse, en.........	$2\frac{1}{2}$.	En.................	21.
Porcelaine, en.....	$5\frac{1}{2}$.	En.................	19.
Verre, en.........	$8\frac{1}{2}$.	En.................	20.
Grès, en..........	$8\frac{1}{2}$.	En.................	25.
Or, en............	10.	En.................	32.

Il résulte de ces trois expériences :

1°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du grès, au point de les tenir : : 38 : 28, et : : 118 : 90 pour leur entier refroidissement.

2°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du verre, au point de les tenir :: 38 : 27, et :: 118 : 70 pour leur entier refroidissement.

3°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de la porcelaine, au point de les tenir :: 38 : 21, et :: 118 : 66 pour leur entier refroidissement.

4°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir :: 38 : 12 $\frac{1}{2}$, et :: 118 : 39 pour leur entier refroidissement.

5°. Que le tems du refroidissement du grès est à celui du refroidissement du verre, au point de les tenir :: 28 $\frac{1}{2}$: 27, et :: 90 : 70 pour leur entier refroidissement.

6°. Que le tems du refroidissement du grès est à celui du refroidissement de la porcelaine, au point de pouvoir les tenir :: 28 $\frac{1}{2}$: 21, et :: 90 : 66 pour leur entier refroidissement.

7°. Que le tems du refroidissement du grès est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir :: 28 $\frac{1}{2}$: 12 $\frac{1}{2}$, et :: 90 : 39 pour leur entier refroidissement.

8°. Que le tems du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de la

porcelaine, au point de les tenir : : 27 : 21, et : : 70 : 66 pour leur entier refroidissement.

9°. Que le tems du refroidissement du verre est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 27 : 12 ½, et : : 70 : 39 pour leur entier refroidissement.

10°. Que le tems du refroidissement de la porcelaine est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 21 : 12 ½, et : : 66 : 39 pour leur entier refroidissement.

XXV.

On a fait chauffer de même les boulets d'argent, de marbre commun, de pierre dure, de marbre blanc et de pierre calcaire tendre d'Anières, près de Dijon.

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Pierre calcaire tendre, en	8.	En	25.
Pierre dure, en	10.	En	34.
Marbre commun, en.	11.	En	35.
Marbre blanc, en.	12.	En	36.
Argent, en	13½.	En	40.

XXVI.

La même expérience répétée, les boulets

se

se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Pierre calcaire tendre, en	9.	En	27.
Pierre calcaire dure, en	11.	En	37.
Marbre commun, en	13.	En	40.
Marbre blanc, en...	14.	En	40.
Argent, en	16.	En	43.

XXVII.

La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Pierre calcaire tendre, en	9.	En	26.
Pierre calcaire dure, en	$10\frac{1}{2}$.	En	36.
Marbre commun, en.	$12\frac{1}{2}$.	En	38.
Marbre blanc, en...	$13\frac{1}{2}$.	En	39.
Argent, en	16.	En	42.

Il résulte de ces trois expériences :

1°. Que le tems du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du marbre blanc, au point de les tenir : : $45\frac{1}{2}$: $39\frac{1}{2}$,

et : : 125 : 115 pour leur entier refroidissement.

2°. Que le tems du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du marbre commun, au point de les tenir : : 45 ½ : 36, et : : 125 : 113 pour leur entier refroidissement.

3°. Que le tems du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de la pierre dure, au point de les tenir : : 45 ½ : 31 ½, et : : 125 : 107 pour leur entier refroidissement.

4°. Que le tems du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de la pierre tendre au point de les tenir : : 45 ½ : 26, et : : 125 : 78 pour leur entier refroidissement.

5°. Que le tems du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement du marbre commun au point de les tenir : : 39 ½ : 36, et : : 115 : 113 pour leur entier refroidissement.

6°. Que le tems du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement de la pierre dure, au point de les tenir : : 39 ½ : 31 ½, et : : 115 : 107 pour leur entier refroidissement.

7°. Que le tems du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de les tenir : : 39 ½ : 26, et : : 115 : 78 pour leur entier refroidissement.

8°. Que le tems du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement de la pierre dure, au point de les tenir : : 36 : 31 ½, et : : 113 : 109 pour leur entier refroidissement.

9°. Que le tems du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de les tenir : : 36 : 26, et : : 113 : 78 pour leur entier refroidissement.

10°. Que le tems du refroidissement de la pierre dure est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de les tenir : : 31 ½ : 26, et : : 107 : 78 pour leur entier refroidissement.

XXVIII.

On a mis dans le même four bien chauffé, des boulets d'or, de marbre blanc, de marbre commun, de pierre dure et de pierre

tendre, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Pierre calcaire tendre, en	9.	En	29.
Marbre commun, en	$11\frac{1}{2}$.	En	35.
Pierre dure, en	$11\frac{1}{2}$.	En	35.
Marbre blanc, en	13.	En	35.
Or, en	$15\frac{1}{2}$.	En	45.

XXIX.

La même expérience répétée à une moindre chaleur, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Pierre calcaire tendre, en	6.	En	19.
Pierre dure, en	8.	En	25.
Marbre commun, en	$9\frac{1}{2}$.	En	26.
Marbre blanc, en	10.	En	29.
Or, en	12.	En	37.

XXX.

La même expérience répétée une troisième

fois, les boulets chauffés à un feu plus ardent, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		*Refroidis à la température.*	
	minutes.		minutes.
Pierre tendre, en...	7.	En.................	20.
Pierre dure, en....	8.	En.................	24.
Marbre commun, en.	$8\frac{1}{2}$.	En.................	20.
Marbre blanc, en ..	9.	En.................	28.
Or, en...........	12.	En.................	35.

Il résulte de ces trois expériences :

1°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du marbre blanc, au point de les tenir : : $39\frac{1}{2}$: 32, et : : 117 : 92 pour leur entier refroidissement.

2°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du marbre commun, au point de les tenir : : $39\frac{1}{2}$: $29\frac{1}{2}$, et : : 117 : 87 pour leur entier refroidissement.

3°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de la pierre dure, au point de les tenir : : $39\frac{1}{2}$: $27\frac{1}{2}$, et : : 117 : 86 pour leur entier refroidissement.

4°. Que le tems du refroidissement de

l'or est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de les tenir : : 39 $\frac{1}{2}$: 22, et : : 117 : 68 pour leur entier refroidissement.

5°. Que le tems du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement du marbre commun, au point de les tenir : : 32 : 29, et : : 92 : 87 pour leur entier refroidissement.

6°. Que le tems du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement de la pierre dure, au point de les tenir : : 32 : 27 $\frac{1}{2}$, et : : 92 : 84 pour leur entier refroidissement.

7°. Que le tems du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de les tenir : : 32 : 22, et : : 92 : 68 pour leur entier refroidissement.

8°. Que le tems du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement de la pierre dure, au point de les tenir : : 29 : 27 $\frac{1}{2}$, et : : 87 : 84 pour leur entier refroidissement.

9°. Que le tems du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de les

tenir : : 29 : 22, et : : 87 : 68 pour leur entier refroidissement.

10°. Que le tems du refroidissement de la pierre dure est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de les tenir : : 27 ½ : 22, et : : 84 : 68 pour leur entier refroidissement.

XXXI.

On a mis dans le même four les boulets d'argent, de grès, de verre, de porcelaine et de gypse, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		*Refroidis à la température.*	
	minutes.		minutes.
Gypse, en	3.	En..................	14.
Porcelaine, en	6½.	En..................	17.
Verre, en	8¾.	En..................	20.
Grès, en...........	9.	En..................	27.
Argent, en........	12½.	En..................	35.

XXXII.

La même expérience répétée, et les boulets chauffés à une chaleur moindre, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Gypse, en.........	3.	En.................	13.
Porcelaine, en.....	7.	En.................	19.
Verre, en.........	$8\frac{1}{2}$.	En.................	22.
Grès en...........	$9\frac{1}{2}$.	En.................	26.
Argent, en........	12.	En.................	34.

XXXIII.

La même expérience répétée une troisième fois, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Gypse, en.........	3.	En.................	12.
Porcelaine, en.....	6.	En.................	17.
Verre, en.........	$7\frac{3}{4}$.	En.................	20.
Grès, en...........	8.	En.................	27.
Argent, en........	$11\frac{1}{2}$.	En.................	34.

Il résulte de ces trois expériences :

1°. Que le tems du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du grès, au point de les tenir : : 36 : 26 $\frac{1}{2}$, et : : 103 : 80 pour leur entier refroidissement.

2°. Que le tems du refroidissement de

l'argent est à celui du refroidissement du verre, au point de les tenir : : 36 : 25, et : : 103 : 62 pour leur entier refroidissement.

3°. Que le tems du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de la porcelaine, au point de les tenir : : 36 : 20, et : : 103 : 54 pour leur entier refroidissement.

4°. Que le tems du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 36 : 9, et : : 103 : 39 pour leur entier refroidissement.

5°. Que le tems du refroidissement du grès est à celui du refroidissement du verre, au point de les tenir : : 26 $\frac{1}{5}$: 25 par les expériences présentes, et : : 28 $\frac{1}{2}$: 27 par les expériences précédentes (*art. XXIV*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 55 à 52 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant : : 80 : 62, et : : 90 : 70 par les expériences précédentes (*art. XXIV*); on aura, en ajoutant ces tems, 170 à 132 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du grès et du verre.

6°. Que le tems du refroidissement du

10°. Que le tems du refroidissement de la porcelaine est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 19 ½ : 9 par les présentes expériences, et : : 21 : 12 ½ par les expériences précédentes (*art. XXIV*); ainsi on aura en ajoutant ces tems, 40 ½ à 21 ½ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 54 : 39, et par les expériences précédentes (*art. XXIV*) : : 66 : 39; on aura en ajoutant ces tems, 120 à 78 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la porcelaine et du gypse.

XXXIV.

On a mis dans le même four les boulets d'or, de craie blanche, d'ocre et de glaise, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Craie, en	6.	En	15.
Ocre, en	6½.	En	16.
Glaise, en	7.	En	18.
Or, en	12.	En	36.

XXXV.

La même expérience répétée avec les

mêmes boulets et un boulet de plomb; leur refroidissement s'est fait dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Craie, en.........	4.	En................	11.
Ocré, en..........	5.	En................	13.
Glaise, en.........	$5\frac{1}{2}$.	En................	15.
Plomb, en.........	7.	En................	18.
Or, en...........	$9\frac{1}{2}$.	En................	29.

Il résulte de ces deux expériences :

1°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : $9\frac{1}{2}$: 7 par l'expérience présente, et : : 38 : 24 par les expériences précédentes (*art. XVI*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, $47\frac{1}{2}$ à 31 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente, étant : : 29 : 18, et : : 115 : 90 par les expériences précédentes (*art. XVI*); on aura en ajoutant ces tems, 144 à 108 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'or et du plomb.

2°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de la

glaise, au point de les tenir : : 21 $\frac{1}{2}$: 12 $\frac{1}{2}$, et : : 65 : 33 pour leur entier refroidissement.

3°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir : : 21 $\frac{1}{2}$: 11 $\frac{1}{2}$, et : : 65 : 29 pour leur entier refroidissement.

4°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de la craie, au point de les tenir : : 21 $\frac{1}{2}$: 10, et : : 67 : 26 pour leur entier refroidissement.

5°. Que le tems du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de la glaise, au point de pouvoir les tenir : : 7 : 5 $\frac{1}{2}$, et : : 18 : 15 pour leur entier refroidissement.

6°. Que le tems du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de pouvoir les tenir : : 7 : 5, et : : 18 : 13 pour leur entier refroidissement.

7°. Que le tems du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de la craie, au point de les tenir : : 7 : 4, et : : 18 : 11 pour leur entier refroidissement.

8°. Que le tems du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de pouvoir les tenir :: 12 ½ : 11 ½, et :: 33 : 29 pour leur entier refroidissement.

9°. Que le tems du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir :: 12 ½ : 10, et :: 33 : 26 pour leur entier refroidissement.

10°. Que le tems du refroidissement de l'ocre est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir :: 11 ½ : 10, et :: 29 : 26 pour leur entier refroidissement.

XXXVI.

On a mis dans le même four les boulets de fer, d'argent, de gypse, de pierre ponce et de bois, mais à un dégré de chaleur moindre, pour ne point faire brûler le bois, et ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Pierre ponce, en...	2.	En.................	5.
Bois, en..........	2.	En.................	6.
Gypse, en........	2½.	En.................	11.
Argent, en........	10.	En.................	35.
Fer, en..........	13.	En.................	40.

XXXVII.

La même expérience répétée à une moindre chaleur, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Pierre ponce, en....	$1\frac{1}{2}$.	En	4.
Bois, en..........	2.	En	5.
Gypse, en.........	$2\frac{1}{2}$.	En	9.
Argent, en	7.	En	24.
Fer, en...........	$8\frac{1}{2}$.	En	31.

Il résulte de ces expériences :

1°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de l'argent, au point de pouvoir les tenir : : 21 $\frac{1}{2}$; 17 par les présentes expériences, et : : 45 $\frac{1}{2}$: 34 par les expériences précédentes (*art. XI*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 67 à 51 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes étant : : 71 : 59, et : : 138 : 97 par les expériences précédentes (*art. XI*) ; on aura, en ajoutant ces temps, 209 à 156 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et de l'argent.

2°. Que

2°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du gypse, au point de pouvoir les tenir : : 21 $\frac{1}{2}$: 5, et : : 71 : 20 pour leur entier refroidissement.

3°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du bois, au point de pouvoir les tenir : : 21 $\frac{1}{2}$: 4, et : : 71 : 11 pour leur entier refroidissement.

4°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de la pierre ponce, au point de les tenir : : 21 $\frac{1}{2}$: 5 $\frac{1}{2}$, et : : 71 : 9 pour leur entier refroidissement.

5°. Que le tems du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 17 : 5, et : : 59 : 30 pour leur entier refroidissement.

6°. Que le tems du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du bois, au point de pouvoir les tenir : : 17 : 4, et : : 59 : 11 pour leur entier refroidissement.

7°. Que le tems du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de la pierre ponce, au point de pouvoir les tenir : : 17 : 3 $\frac{1}{2}$, et : : 59 : 9 pour leur entier refroidissement.

8°. Que le tems du refroidissement du

gypse est à celui du refroidissement du bois, au point de pouvoir les tenir : : 5 : 4, et : : 20 : 11 pour leur entier refroidissement.

9°. Que le tems du refroidissement du gypse est à celui du refroidissement de la pierre ponce, au point de pouvoir les tenir : : 5 : 3 $\frac{1}{2}$, et : : 20 : 9 pour leur entier refroidissement.

10°. Que le tems du refroidissement du bois est à celui du refroidissement de la pierre ponce, au point de les tenir : : 4 : 3 $\frac{1}{2}$, et : : 11 : 9 pour leur entier refroidissement.

XXXVIII.

Ayant fait chauffer ensemble les boulets d'or, d'argent, de pierre tendre et de gypse, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Gypse, en.........	4 $\frac{1}{2}$.	En................	14.
Pierre tendre, en..	12.	En................	27.
Argent, en........	16.	En................	42.
Or, en...........	18.	En................	47.

Il résulte de cette expérience :

1°. Que le tems du refroidissement de

l'or est à celui du refroidissement de l'argent, au point de pouvoir les tenir :: 18 : 16 par l'expérience présente, et :: 62 : 55 par les expériences précédentes (*art. XV*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 98 à 71 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant :: 35 : 42, et :: 187 : 159 par les expériences précédentes (*art. XV*); on aura, en ajoutant ces tems, 234 à 201 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'or et de l'argent.

2°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de les tenir :: 18 : 12, et :: 39 ½ : 23 par les expériences précédentes (*art. XXX*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 57 ½ à 35 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente, étant :: 47 : 27, et par les expériences précédentes (*art. XXX*) :: 117 : 68; on aura, en ajoutant ces tems, 164 à 95 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'or et de la pierre tendre.

3°. Que le tems du refroidissement de

l'or est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 18 : 4 ½, et : : 38 : 12 ½ par les expériences précédentes (*art. XXIV*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 56 à 17 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience, étant : : 47 : 14, et : : 118 : 39 par les expériences précédentes (*art. XXIV*); on aura, en ajoutant ces tems, 165 à 53 pour le rapport encore plus précis de leur entier refroidissement.

4°. Que le tems du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de les tenir : : 16 : 12 par la présente expérience, et : : 45 ½ : 26 par les expériences précédentes (*art. XXVII*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 61 ½ à 38 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience, étant : : 42 : 27, et : : 125 : 78 par les expériences précédentes (*art. XXVII*); on aura, en ajoutant ces tems, 167 à 105 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'argent et de la pierre tendre.

5°. Que le tems du refroidissement de

l'argent est à celui du refroidissement du gypse au point de pouvoir les tenir : : 16 : 4 $\frac{1}{2}$ par la présente expérience et : : 17 : 5 par les expériences précédentes (*art. XXXVI*) ; ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 33 à 9 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant : : 42 : 14, et : : 59 : 20 par les expériences précédentes (*art. XXXVI*) ; on aura, en ajoutant ces tems, 101 à 34 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'argent et du gypse.

6°. Que le temps du refroidissement de la pierre tendre est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 12 : 4 $\frac{1}{2}$ et : : 72 : 14 pour leur entier refroidissement.

XXXIX.

Ayant fait chauffer pendant vingt minutes, c'est-à-dire, pendant un tems à peu près double de celui qu'on tenoit ordinairement les boulets au feu, qui étoit communément de dix minutes, les boulets de fer, de cuivre, de verre, de plomb et d'étain, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		*Refroidis à la température.*	
	minutes.		minutes.
Etain, en.	10.	En.	25.
Plomb, en.	11.	En.	30.
Verre, en.	12.	En.	35.
Cuivre, en.	$16\frac{1}{2}$.	En.	44.
Fer, en.	$20\frac{1}{2}$.	En.	50.

Il résulte de cette expérience qui a été faite avec la plus grande précaution :

1°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du cuivre, au point de pouvoir les tenir : : $20\frac{1}{2}$: $16\frac{1}{2}$ par la présente expérience, et : : 161 : 138 par les expériences précédentes (*art. XXI*) ; ainsi on aura, en ajoutant ces tems, $181\frac{1}{2}$ à $154\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente, étant : : 50 : 44, et : : 466 : 405 par les expériences précédentes (*art. XXI*) ; on aura, en ajoutant ces tems, 516 à 449 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et du cuivre.

2°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du verre, au point de pouvoir les tenir : : $20\frac{1}{2}$: 12 par l'expérience présente, et : : 62 : $35\frac{1}{2}$ par les

expériences précédentes (*art. XXI*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 82 $\frac{1}{2}$ à 46 pour le rapport encore plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente, étant : : 50 : 35, et : : 186 : 97 par les expériences précédentes (*art. XXI*); on aura en ajoutant ces tems, 236 à 132 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et du verre.

3°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : 20 $\frac{1}{2}$: 11 par la présente expérience, et : : 53 $\frac{1}{2}$: 27 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. IV*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 74 à 38 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 50 : 30, et : : 142 : 94 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. IV*); on aura, en ajoutant ces tems, 192 à 124 $\frac{1}{2}$ pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et du plomb.

4°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : 20 $\frac{1}{2}$: 10, et : : 131 : 64 $\frac{1}{2}$ par les expériences précé-

dentes (*art. XXI*), ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 152 à 74 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente, étant : : 50 : 25, et : : 460 : 226 par les expériences précédentes (*art. XXI*); on aura, en ajoutant ces tems, 510 à 251 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et de l'étain.

5°. Que le tems du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement du verre, au point de les tenir : : 16 $\frac{1}{2}$: 12 par la présente expérience, et : : 52 $\frac{1}{2}$: 34 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. XXI*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 69 à 46 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience, étant : : 44 : 35, et : : 157 : 97 par les expériences précédentes (*art. XXI*); on aura, en ajoutant ces tems, 201 à 132 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du cuivre et du verre.

6°. Que le tems du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement du plomb, au point de les tenir : : 16 $\frac{1}{2}$: 11 par la présente expérience; et : : 45 : 27 par

les expériences précédentes (*art.* *V*) ; ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 61 ½ à 38 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience, étant : : 44 : 30, et : : 125 : 94 ½ par les expériences précédentes (*art.* *V*); on aura, en ajoutant ces tems, 169 à 124 ½ pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du cuivre et du plomb.

7°. Que le tems du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir : : 16 ½ : 10 par l'expérience présente, et : : 136 ½ : 76 par les expériences précédentes (*art.* *XXI*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 153 à 86 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience, étant : : 44 : 25, et : : 304 : 224 par les expériences précédentes (*art.* *XXI*); on aura, en ajoutant ces tems, 348 à 249 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du cuivre et de l'étain.

8°. Que le tems du refroidissement du verre est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : :

12 : 11, et : : 35 : 30 pour leur entier refroidissement.

9°. Que le tems du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir : : 12 : 10 par la présente expérience, et : : 34 ½ : 32 ½ par les expériences précédentes (*art. XXI*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 46 à 42 ½ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience, étant : : 35 : 25, et : : 97 : 92 par les expériences précédentes (*art. XXI*); on aura, en ajoutant ces tems, 132 à 117 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du verre et de l'étain.

10°. Que le tems du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir : : 11 : 10 par la présente expérience, et : : 25 ½ : 21 ½ par les expériences précédentes (*art. VIII*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 36 ½ à 31 ½ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience, étant : : 30 : 25, et : : 79 ½ : 64 par les expériences précédentes (*art. VIII*); on aura, en ajoutant ces tems, 109 ½ à 89 pour le rapport

encore plus précis de l'entier refroidissement du plomb et de l'étain.

X L.

Ayant mis chauffer ensemble les boulets de cuivre, de zinc, de bismuth, d'étain et d'antimoine, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant.

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		*Refroidis à la température.*	
	minutes.		minutes.
Antimoine, en.......	8.	En.................	24.
Bismuth, en.......	8.	En.................	23.
Etain, en.........	$8\frac{1}{2}$.	En.................	25.
Zinc, en..........	12.	En.................	30.
Cuivre, en........	14.	En.................	40.

X L I.

La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		*Refroidis à la température.*	
	minutes.		minutes.
Antimoine, en.....	8.	En.	23.
Bismuth, en.......	8.	En.	24.
Etain, en.........	$9\frac{1}{2}$.	En.	25.
Zinc, en..........	12.	En.	38.
Cuivre, en........	14.	En.	40.

Il résulte de ces deux expériences :

1°. Que le tems du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement du zinc, au point de les tenir : : 28 : 24, et : : 80 : 68 pour leur entier refroidissement.

2°. Que le tems du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir : : 28 : 18 par les présentes expériences, et : : 153 : 86 par les expériences précédentes (*art. XXXIX*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 181 à 104 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience, étant : : 80 : 47, et par les expériences précédentes (*art. XXXIX*) : : 348 : 249; on aura, en ajoutant ces tems, 428 à 296 pour le rapport plus précis de l'entier refroidissement du cuivre et de l'étain.

3°. Que le tems du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir : : 28 : 16, et : : 80 : 47 pour leur entier refroidissement.

4°. Que le tems du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement du bismuth, au point de les tenir : : 28 : 16,

et : : 80 : 47 pour leur entier refroidissement.

5°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir : : 24 : 18, et : : 68 : 47 pour leur entier refroidissement.

6°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les tenir : : 24 : 16 par les présentes expériences, et : : 73 : 39 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. XVII*); ainsi en ajoutant ces tems, on aura 97 à 55 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes, étant : : 68 : 47, et : : 220 : 155 par les expériences précédentes (*art. XVII*); on aura, en ajoutant ces tems, 288 à 292 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et de l'antimoine.

7°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les tenir : : 24 : 16, et : 59 : 35 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. XVII*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 83 à 51 $\frac{1}{2}$ pour le rapport encore plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport

donné par la présente expérience étant :: 68 : 47, et :: 176 : 140 par les expériences précédentes (*art. XVII*); on aura, en ajoutant ces tems 244 à 187 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et du bismuth.

8°. Que le tems du refroidissement de l'étain est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les tenir :: 18 : 16, et :: 50 : 47 pour leur entier refroidissement.

9°. Que le tems du refroidissement de l'étain est à celui du refroidissement du bismuth, au point de les tenir :: 18 : 16, et :: 50 : 47 pour leur entier refroidissement.

10°. Que le tems du refroidissement du bismuth est à celui du refroidissement de l'antimoine au point de pouvoir les tenir :: 16 : 16 par la présente expérience, et :: 35 $\frac{1}{2}$: 32 par les expériences précédentes (*art. XVII*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 51 $\frac{1}{2}$ à 48 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente étant :: 47 : 47, et par les expériences précédentes (*art. XVII*); :: 140 : 127; on aura en ajoutant ces tems

187 à 174 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du bismuth et de l'antimoine.

XLII.

Ayant fait chauffer ensemble les boulets d'or, d'argent, de fer, d'émeril et de pierre dure, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Pierre calcaire dure, en	$11\frac{1}{2}$.	En	32.
Argent, en	13.	En	37.
Or, en	14.	En	40.
Emeril, en	$15\frac{1}{2}$.	En	46.
Fer, en	17.	En	51.

Il résulte de cette expérience :

1°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de l'émeril au point de pouvoir les tenir : : 17 : $15\frac{1}{2}$, et : : 51 : 46 pour leur entier refroidissement.

2°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de l'or, au point de pouvoir les tenir : : 17 : 14

par la présente expérience, et : : 45 $\frac{1}{2}$: 37 par les expériences précédentes (*art. XI*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 62 $\frac{1}{2}$ à 51 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 51 : 40, et : : 138 : 114 par les expériences précédentes (*art. XI*); on aura, en ajoutant ces tems, 189 à 154 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et de l'or.

3°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de l'argent, au point de les tenir : : 17 : 13 par la présente expérience, et : : 67 : 51 par les expériences précédentes (*art. XXXVII*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 84 à 64 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience étant : : 51 : 37, et : : 209 : 156 par les expériences précédentes (*art. XXXVII*); on aura, en ajoutant ces tems, 260 à 193 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et de l'argent.

4°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de la pierre dure, au point de les tenir : : 17 :

11 $\frac{1}{4}$, et :: 51 : 52 pour leur entier refroidissement.

5°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'or, au point de pouvoir les tenir :: 15 $\frac{1}{2}$: 14 par la présente expérience, et :: 44 : 38 par les expériences précédentes (*art. XVI*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 59 $\frac{1}{2}$ à 52 pour le rapport encore plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience, étant :: 46 : 40, et :: 131 : 115 par les expériences précédentes (*art. XVI*); on aura, en ajoutant ces tems, 177 à 115 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et de l'or.

6°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'argent, au point de pouvoir les tenir :: 15$\frac{1}{2}$: 13 par la présente expérience, et :: 43 : 32 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. XVII*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 58 $\frac{1}{2}$ à 45 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis du premier refroidissement de l'émeril et de l'argent; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience, étant :: 46 : 37, et :: 125 : 98 par les expériences précédentes (*art. XVII*); on aura, en ajoutant

grès, de pierre tendre, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		*Refroidis à la température.*	
	minutes.		minutes.
Pierre calcaire tendre, en	$\frac{1}{2}$.	En.	20.
Plomb, en.........	8.	En.	29.
Grès, en..........	$8\frac{1}{2}$.	En.	29.
Marbre blanc, en...	$10\frac{1}{2}$.	En.	29.
Fer, en...........	15.	En.	43.

XLIV.

La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		*Refroidis à la température.*	
	minutes.		minutes.
Pierre calcaire tendre, en..............	7.	En	21.
Plomb, en.........	8.	En................	28.
Grès, en..........	8_{1}.	En	28.
Marbre blanc, en...	$10\frac{1}{2}$.	En	30.
Fer, en...........	16.	En	45.

Il résulte de ces deux expériences :

1o. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du marbre

blanc, au point de les tenir :: 50 : 41 & :: 88 : 59 pour leur entier refroidissement.

2°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du grès, au point de les tenir :: 50 : 37 par la présente expérience, et :: 95 $\frac{1}{2}$: 72 par les expériences précédentes (art. IV); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 145 $\frac{1}{2}$ à 109 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience, étant :: 88 : 57, et :: 142 : 102 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. IV); on aura, en ajoutant ces tems, 230 à 159 $\frac{1}{2}$ pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et du grès.

3°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir :: 30 : 16 par les expériences présentes, et :: 76 : 38 par les expériences précédentes (art. XXXIX); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 106 à 54 pour le rapport encore plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes, étant :: 98 : 57, et :: 142 : 124 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (art. XXXIX); on aura, en ajoutant ces tems,

280 à 181 ½ pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du fer et du plomb.

4°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de pouvoir les tenir :: 31 : 13, et :: 88 : 41 pour leur entier refroidissement.

5°. Que le tems du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement du grès, au point de les tenir :: 21 : 17, et :: 59 : 57 pour leur entier refroidissement.

6°. Que le tems du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement du plomb au point de les tenir :: 21 : 16, et :: 59 : 57 pour leur entier refroidissement.

7°. Que le tems du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement de la pierre calcaire tendre, au point de les tenir :: 21 : 13 ½ par les présentes expériences, et :: 32 : 23 par les expériences précédentes (*art. XXX*); ainsi en ajoutant ces tems, on aura 53 à 36 ½ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes, étant :: 59 :

41, et : : 92 : 68 par les expériences précédentes (*art. XXX*); on aura, en ajoutant ces tems, 151 à 109 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du marbre blanc et de la pierre calcaire tendre.

8°. Que le tems du refroidissement du grès est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : 17 : 16 par les expériences présentes, et : : 42 $\frac{1}{2}$: 35 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. VIII*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems 59 $\frac{1}{2}$ à 51 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant : : 57 : 57, et : : 130 : 121 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. VIII*); on aura, en ajoutant ces tems, 187 à 178 $\frac{1}{2}$ pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du grès et du plomb.

9°. Que le tems du refroidissement du grès est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de pouvoir les tenir : : 17 : 13 $\frac{1}{2}$, et : : 57 : 41 pour leur entier refroidissement.

10°. Que le tems du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de les tenir : : 16

: 13 $\frac{1}{2}$, et : : 57 : 41 pour leur entier refroidissement.

XLV.

On a fait chauffer ensemble les boulets de gypse, d'ocre, de craie, de glaise et de verre, et voici l'ordre dans lequel ils se sont refroidis.

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Gypse, en	$3\frac{1}{2}$.	En	15.
Ocre, en	$5\frac{1}{2}$.	En	16.
Craie, en	$5\frac{1}{2}$.	En	16.
Glaise, en	7.	En	18.
Verre, en	$8\frac{1}{2}$.	En	24.

XLVI.

La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Gypse, en	$3\frac{1}{2}$.	En	14.
Ocre, en	$5\frac{1}{2}$.	En	16.
Craie, en	$5\frac{1}{2}$.	En	16.
Glaise, en	$6\frac{1}{2}$.	En	18.
Verre, en	8.	En	22.

Il résulte de ces deux expériences :

1°. Que le tems du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de la glaise, au point de les tenir : : 16 ½ : 13 ½, et : : 46 : 36 pour leur entier refroidissement.

2°. Que le tems du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de la craie, au point de les tenir : : 16 ½ : 11, et : : 46 : 32 pour leur entier refroidissement.

3°. Que le tems du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir : : 16 ½ : 11, et : : 46 : 32 pour leur entier refroidissement.

4°. Que le tems du refroidissement du verre est à celui du refroidissement du gypse, au point de pouvoir les tenir : : 16 ½ : 7 par la présente expérience, et : : 52 : 21 ½ par les expériences précédentes (*article XXXIII*) ; ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 68 ½ à 28 ½ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes, étant : : 46 : 29, et : : 32 : 78 par les expériences précédentes (*art. XXXIII*); on aura, en ajoutant ces tems, 178 à 107 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du verre et du gypse.

5°. Que le tems du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement de la craie, au point de les tenir : : 13 $\frac{1}{2}$: 11 par la présente expérience, et : : 12 $\frac{1}{2}$: 10 par les expériences précédentes (*article XXXV*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 26 à 21 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 36 : 32, et : : 33 : 26 par les expériences précédentes (*art.* XXXV); on aura, en ajoutant ces tems, 69 à 58 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la glaise et de la craie.

6°. Que le tems du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir : : 13 $\frac{1}{2}$: 11 par les présentes expériences, et : : 12 $\frac{1}{2}$: 11 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art.* XXXV); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 26 à 22 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant : : 36 : 32, et : : 33 : 29 par les expériences précédentes (*art.* XXXV) on aura, en ajoutant ces tems, 69 à 61 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la glaise et de l'ocre.

7°. Que le tems du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : $13\frac{1}{2}$: 17, et : : 36 : 29 pour leur entier refroidissement.

8°. Que le tems du refroidissement de la craie est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir : : 11 : 11 par les présentes expériences, et : : 10 : $11\frac{1}{2}$ par les précédentes expériences (*art. XXXV.*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 21 à $22\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes, étant : : 32 : 32, et : : 26 : 29 par les expériences précédentes (*article XXXV*); on aura, en ajoutant ces tems, 58 à 61 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la craie et de l'ocre.

9°. Que le tems du refroidissement de la craie est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 11 : 7, et : : 32 : 29 pour leur entier refroidissement.

10°. Que le tems du refroidissement de l'ocre est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 11 : 7, et : : 32 : 29 pour leur entier refroidissement.

XLVII.

Ayant fait chauffer ensemble les boulets de zinc, d'étain, d'antimoine, de grès et de marbre blanc, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		*Refroidis à la température.*	
	minutes.		minutes.
Antimoine, en	6.	En	16.
Etain, en	6½.	En	20.
Grès, en	8.	En	26.
Marbre blanc, en	9½.	En	29.
Zinc, en	11½.	En	35.

XLVIII.

La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		*Refroidis à la température.*	
	minutes.		minutes.
Antimoine, en	5.	En	13.
Etain, en	6.	En	16.
Grès, en	7.	En	21.
Marbre blanc, en	8.	En	24.
Zinc, en	9½.	En	30.

Il résulte de ces deux expériences :

1°. Que le tems du refroidissement du

zinc est à celui du refroidissement du marbre blanc, au point de les tenir :: 21 : 17 $\frac{1}{2}$, et :: 65 : 53 pour leur entier refroidissement.

2°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du grès, au point de les tenir :: 21 : 15, et :: 65 : 47 pour leur entier refroidissement.

3°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir :: 21 : 12 $\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et :: 24 : 18 par les expériences précédentes (*art. XLI*); ainsi en ajoutant ces tems, on aura 45 à 30 $\frac{1}{2}$ pour le rapport encore plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes, étant :: 65 : 36, et par les expériences précédentes (*art. XLI*) :: 68 : 47; on aura, en ajoutant ces tems, 133 à 83 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et de l'étain.

4°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les tenir :: 21 : 11 par les présentes expériences, et :: 73 : 39 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. XVII*); ainsi en ajoutant ces tems, on aura, 94 à

et : : 18 : 16 par les expériences précédentes (*art. XL*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 30 $\frac{1}{2}$ à 27 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes, étant : : 36 : 29, et : : 47 : 47 par les expériences précédentes (*art. XL*); on aura, en ajoutant ces tems, 83 à 76 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'étain et de l'antimoine.

XLIX.

On a fait chauffer ensemble les boulets de cuivre, d'émeril, de bismuth, de glaise et d'ocre, et ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		*Refroidis à la température.*	
	minutes.		minutes.
Ocre, en	6.	En..................	18.
Bismuth, en.......	7.	En	22.
Glaise, en.........	7.	En..................	23.
Cuivre, en........	13.	En	36.
Emeril, en........	15$\frac{1}{2}$.	En	43.

L.

La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Ocre, en..........	5½.	En.................	13.
Bismuth, en.......	6.	En.................	18.
Glaise, en........	6.	En.................	19.
Cuivre, en........	10.	En.................	30.
Emeril, en........	11½.	En.................	38.

Il résulte de ces deux expériences :

1°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du cuivre, au point de les tenir : : 27 : 23, et : : 81 : 66 pour leur entier refroidissement.

2°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de la glaise, au point de les tenir : : 27 : 13, et : : 81 : 42 pour leur entier refroidissement.

3°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du bismuth, au point de les tenir : : 27 : 13 par les présentes expériences, et : : 71 : 35½ par les expériences précédentes (*art. XVII*) ; ainsi, on aura, en ajoutant ces tems, 98 à 48 ½ pour le rapport encore plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les expériences

présentes, étant : : 81 : 40, et par les expériences précédentes (*art. XVII*) : : 216 : 140 ; on aura, en ajoutant ces tems, 297 à 180 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et du bismuth.

4°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir : : 27 : 11 ½, et : : 81 : 31 pour leur entier refroidissement.

5°. Que le tems du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de la glaise, au point de les tenir : : 23 : 13, et : : 66 : 42 pour leur entier refroidissement.

6°. Que le tems du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les tenir : : 23 : 13 par les présentes expériences, et : : 28 : 16 par les expériences précédentes (*art. XLI*) ; ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 51 à 39 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant : : 66 : 40, et : : 80 : 47 par les expériences précédentes (*art. XLI*) ; on aura, en ajoutant ces tems, 146 à 87 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du cuivre et du bismuth.

7°. Que le tems du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir : : 33 : 11 ½, et : : 66 : 31 pour leur entier refroidissement.

8°. Que le tems du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement du bismuth, au point de pouvoir les tenir : : 13 : 13, et : : 42 : 41 pour leur entier refroidissement.

9°. Que le tems du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement de l'ocre au point de les tenir : : 13 : 11 ½ par les expériences présentes, et : : 26 : 22 ½ par les expériences précédentes, (*art. XLVI*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 39 à 34 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes étant : : 42 : 31, et : : 69 : 61 par les expériences précédentes (*article XLVI*); on aura, en ajoutant ces tems, 111 à 92 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la glaise et de l'ocre.

10°. Que le tems du refroidissement du bismuth est à celui du refroidissement de l'ocre, pour pouvoir les tenir : : 13 : 11 ½, et : : 32 : 31 pour leur entier refroidissement.

L I.

Ayant fait chauffer ensemble les boulets de fer, de zinc, de bismuth, de glaise et de craie, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		*Refroidis à la température.*
	minutes.	minutes.
Craie, en	$6\frac{1}{2}$.	En .... 18.
Bismuth, en	7.	En .... 19.
Glaise, en	8.	En .... 20.
Zinc, en	15.	En .... 25.
Fer, en	19.	En .... 45.

L I I.

La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		*Refroidis à la température.*
	minutes.	minutes.
Craie, en	7.	En .... 20.
Bismuth, en	$7\frac{1}{2}$.	En .... 21.
Glaise, en	9.	En .... 24.
Zinc, en	16.	En .... 34.
Fer, en	$21\frac{1}{2}$.	En .... 53.

On peut conclure de ces deux expériences :

1°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du zinc, au point de les tenir : : 40 $\frac{1}{2}$: 31, et : : 98 : 59 pour leur entier refroidissement.

2°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement du bismuth, au point de les tenir : : 40 $\frac{1}{2}$: 14 $\frac{1}{2}$, et : : 98 : 40 pour leur entier refroidissement.

3°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de la glaise, au point de les tenir : : 40 $\frac{1}{2}$: 17, et : : 98 : 44 pour leur entier refroidissement.

4°. Que le tems du refroidissement du fer est à celui du refroidissement de la craie, au point de les tenir : : 40 $\frac{1}{2}$: 12 $\frac{1}{2}$, et : : 98 : 38 pour leur entier refroidissement.

5°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du bismuth, au point de les tenir : : 31 : 14 $\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : 34 $\frac{1}{2}$: 20 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. XV*) ; ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 65 $\frac{1}{2}$ à 35 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rap-

port donné par les présentes expériences, étant : : 59 : 40, et : : 100 : 80 par les expériences précédentes (*art. XV*) ; on aura, en ajoutant ces tems, 159 à 120 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et du bismuth.

6°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de la glaise, au point de les tenir : : 31 : 17, et : : 59 : 44 pour leur entier refroidissement.

7°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de la craie, au point de les tenir : : 31 : 12 $\frac{1}{2}$, et : : 59 : 38 pour leur entier refroidissement.

8°. Que le tems du refroidissement du bismuth est à celui du refroidissement de la glaise, au point de les tenir : : 14 $\frac{1}{2}$: 17 par les présentes expériences, et : : 13 : 13 par les expériences précédentes (*art. L*) ; ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 27 $\frac{1}{2}$ à 30 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes, étant : : 40 : 44, et : : 41 : 42 par les expériences précédentes (*art. L*) ; on aura, en ajoutant ces tems, 81 à 86 pour

le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du bismuth et de la glaise.

9°. Que le tems du refroidissement du bismuth est à celui du refroidissement de la craie, au point de les tenir : : 14 $\frac{1}{2}$: 13 $\frac{1}{2}$, et : : 40 : 38 pour leur entier refroidissement.

10°. Que le tems du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement de la craie, au point de les tenir : : 17 : 13 $\frac{1}{2}$, par les expériences présentes, et : : 26 : 21 par les expériences précédentes (*art. XLVI*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 43 à 34 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant : : 44 : 38, et : : 69 : 58 par les expériences précédentes (*art. XLVI*); on aura, en ajoutant ces tems, 113 à 96 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la glaise et de la craie.

LIII.

Ayant fait chauffer ensemble les boulets d'émeril, de verre, de pierre calcaire dure et de bois, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Bois, en..........	$2\frac{1}{2}$.	En	15.
Verre, en.........	$9\frac{1}{2}$.	En	28.
Grès, en.	11.	En	34.
Pierre calcaire dure, en	12.	En	36.
Emeril, en........	15.	En.................	47.

L I V.

La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Bois, en.	2.	En................	13.
Verre, en.........	$7\frac{1}{2}$.	En................	21.
Grès en.	8.	En................	24.
Pierre dure, en....	$8\frac{1}{2}$.	En................	26.
Emeril, en........	14.	En................	42.

Il résulte de ces deux expériences :

1°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de la pierre dure, au point de les tenir : : 21 : 20 $\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : 15 $\frac{1}{2}$: 12 par les expériences précédentes (*art. XLII*); ainsi en ajoutant ces tems,

on aura 44 $\frac{1}{2}$ à 32 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant : : 89 : 62, et : : 46 : 32 par les expériences précédentes (*art. XLII*); on aura, en ajoutant ces tems, 135 à 94 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et de la pierre dure.

2°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du grès, au point de les tenir : : 29 : 19, et : : 89 : 58 pour leur entier refroidissement.

3°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du verre, au point de les tenir : : 29 : 17, et : : 89 : 49 pour leur entier refroidissement.

4°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement du bois, au point de les tenir : : 29 : 4 $\frac{1}{2}$, et : : 89 : 28 pour leur entier refroidissement.

5°. Que le tems du refroidissement de la pierre dure est à celui du refroidissement du grès, au point de les tenir : : 20 $\frac{1}{2}$

: 19, et : : 62 : 58 pour leur entier refroidissement.

6°. Que le tems du refroidissement de la pierre dure est à celui du refroidissement du verre, au point de les tenir : : 20 $\frac{1}{2}$: 17, et : : 62 : 49 pour leur entier refroidissement.

7°. Que le tems du refroidissement de la pierre dure, est à celui du refroidissement du bois, au point de les tenir : : 20 $\frac{1}{2}$: 4 $\frac{1}{2}$, et : : 62 : 28 pour leur entier refroidissement.

8°. Que le tems du refroidissement du grès est à celui du refroidissement du verre, au point de les tenir : : 19 : 17 par les présentes expériences, et : : 55 : 52 par les expériences précédentes (*art. XXXIII*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 74 à 69 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant : : 58 : 49, et : : 170 : 132 par les expériences précédentes (*art. XXXIII*); on aura, en ajoutant ces tems, 228 à 181 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du grès et du verre.

9°. Que le tems du refroidissement du

grès est à celui du refroidissement du bois, au point de pouvoir les tenir : : 15 : 4 $\frac{1}{2}$, et : : 58 : 28 pour leur entier refroidissement.

10°. Que le tems du refroidissement du verre est à celui du refroidissement du bois, au point de les tenir : : 17 : 4 $\frac{1}{2}$, et : : 49 : 28 pour leur entier refroidissement.

L V.

Ayant fait chauffer ensemble les boulets d'or, d'étain, d'émeril, de gypse et de craie, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Gypse, en.........	5.	En.................	15.
Grès, en..........	7$\frac{1}{2}$.	En.................	21.
Etain, en.........	11$\frac{1}{2}$.	En.................	30.
Or, en...........	16.	En.................	41.
Emeril, en........	20.	En.................	49.

L V I.

La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		*Refroidis à la température.*	
	minutes.		minutes.
Gypse, en	4.	En..................	13.
Grès, en	$6\frac{1}{2}$.	En..................	18.
Etain, en.........	10.	En..................	27.
Or, en............	15.	En..................	40.
Emeril, en........	18.	En..................	46.

On peut conclure de ces expériences :

1°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de l'or, au point de les tenir : : 38 : 31 par les expériences présentes, et : : 59 $\frac{1}{2}$: 52 par les expériences précédentes (*art. XLII*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 97 $\frac{1}{2}$ à 83 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant : : 95 : 81, et : : 166 : 155 par les expériences précédentes (*art. XLII*); on aura, en ajoutant ces tems, 261 à 236 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'émeril et de l'or.

2°. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de

l'étain, au point de les tenir : : 38 : 21 $\frac{1}{2}$, et : : 95 : 57 pour leur entier refroidissement.

3. Que le tems du refroidissement de l'émeril est à celui du refroidissement de la craie, au point de les tenir : : 38 : 14, et : : 95 : 39 pour leur entier refroidissement.

4°. Que le tems du refroidissement de l'émeril, est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 38 : 9, et : : 95 : 28 pour leur entier refroidissement.

5°. Que le tems du refroidissement de l'or est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir : : 31 : 22 par les présentes expériences, et : : 37 : 21 par les expériences précédentes (*art. XI*) ; ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 68 à 43 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant : : 81 : 57, et : : 114 : 61 par les expériences précédentes (*art. XI*); on aura, en ajoutant ces tems, 195 à 118 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'or et de l'étain.

6°. Que le tems du refroidissement de

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		*Refroidis à la température.*	
	minutes.		minutes.
Bois, en.	$2\frac{1}{2}$.	En.	9.
Ocre, en..........	$6\frac{1}{2}$.	En.	19.
Glaise, en.........	$7\frac{1}{2}$.	En.	21.
Marbre commun, en.	$10\frac{1}{2}$.	En.	29.
Marbre blanc, en...	12.	En................	34.

L V I I I.

La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		*Refroidis à la température.*	
	minutes.		minutes.
Bois, en.	3.	En	11.
Ocre, en..........	7.	En	20.
Glaise, en.	$8\frac{1}{2}$.	En	23.
Marbre commun,en	$12\frac{1}{2}$.	En	32.
Marbre blanc, en...	13.	En	36.

On peut conclure de ces deux expériences :

1°. Que le tems du refroidissement du marbre blanc, est à celui du refroidissement du marbre commun, au point de pouvoir les tenir : : 25 : 22 par les présentes expériences, et : : 39 $\frac{1}{2}$: 36 par les expériences précédentes (*art. XXVII*) ; ainsi on aura, en

en ajoutant ces tems, 64 $\frac{1}{2}$ à 58 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant :: 70 : 61, et :: 115 : 113 par les expériences précédentes (*art.* XXVII); on aura, en ajoutant ces tems, 185 à 174 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du marbre blanc et du marbre commun.

2°. Que le tems du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement de la glaise, au point de pouvoir les tenir :: 25 : 16, et :: 70 : 44 pour leur entier refroidissement.

3°. Que le tems du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir :: 25 : 13 $\frac{1}{2}$, et :: 70 : 39 pour leur entier refroidissement.

4°. Que le tems du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement du bois, au point de les tenir :: 25 : 5 $\frac{1}{2}$, et :: 70 : 20 pour leur entier refroidissement.

5°. Que le tems du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidisse-

ment de la glaise, au point de les tenir : : 22 : 16, et : : 61 : 44 pour leur entier refroidissement.

6°. Que le tems du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir : : 22 : 13 $\frac{1}{2}$, et : : 61 : 39 pour leur entier refroidissement.

7°. Que le tems du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement du bois, au point de les tenir : : 22 : 5 $\frac{1}{2}$, et : : 61 : 20 pour leur entier refroidissement.

8°. Que le tems du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir : : 16 : 13 $\frac{1}{2}$, par les présentes expériences, et : : 12 $\frac{1}{2}$: 11 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. XXXV*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 28 $\frac{1}{2}$ à 20 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant : : 44 : 39, et : : 33 : 29 par les expériences précédentes (*art. XXXV*); on aura, en ajoutant ces tems, 77 à 68 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la glaise et de l'ocre.

9°. Que le tems du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement du bois, au point de les tenir :: 16 : 5 $\frac{1}{2}$, et :: 44 : 20 pour leur entier refroidissement.

10°. Que le tems du refroidissement de l'ocre est à celui du refroidissement du bois, au point de les tenir :: 13 $\frac{1}{2}$: 5 $\frac{1}{2}$, et :: 39 : 20 pour leur entier refroidissement.

L I X.

Ayant mis chauffer ensemble les boulets d'argent, de verre, de glaise, d'ocre et de craie, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Craie, en	5$\frac{1}{2}$.	En	16.
Ocre, en	6.	En	18.
Glaise, en	8.	En	22.
Verre, en	9$\frac{1}{2}$.	En	29.
Argent, en	12$\frac{1}{2}$.	En	35.

L X.

La même expérience répétée, les boulets

chauffés plus long-tems, se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		*Refroidis à la température.*	
	minutes.		minutes.
Craie, en..........	7.	En................	22.
Ocre, en..........	$8\frac{1}{2}$.	En................	25.
Glaise, en.........	$9\frac{1}{2}$.	En................	29.
Verre, en.........	$12\frac{1}{2}$.	En................	38.
Argent, en.......	$16\frac{1}{2}$.	En................	41.

On peut conclure de ces deux expériences :

1°. Que le tems du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement du verre, au point de les tenir :: 29 : 22 par les présentes expériences, et :: 36 : 25 par les expériences précédentes (*art. XXXIII*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 65 à 47 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant :: 76 : 67, et :: 103 : 62 par les expériences précédentes (*art. XXXIII*); on aura, en ajoutant ces tems, 179 à 129 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'argent et du verre.

2°. Que le tems du refroidissement de

l'argent est à celui du refroidissement de la glaise au point de pouvoir les tenir : : 29 : 17 ½, et : : 76 : 51 pour leur entier refroidissement.

3°. Que le tems du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de les tenir : : 29 : 14 ½, et : : 76 : 43 pour leur entier refroidissement.

4°. Que le tems du refroidissement de l'argent est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir : : 29 : 12 ½, et : : 76 : 38 pour leur entier refroidissement.

5°. Que le tems du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de la glaise, au point de pouvoir les tenir : : 22 : 17 ½ par les expériences présentes, et : : 16 ½ : 13 ½ par les expériences précédentes (*art. XLVI*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 38 ½ à 31 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant : : 67 : 51, et : : 46 : 36 par les expériences précédentes (*art. XLVI*); on aura, en ajoutant ces tems, 113 à 87 pour le rapport encore plus

ces, étant : : 51 : 38, et : : 69 : 58 par les expériences précédentes (*art. XLVI*); on aura, en ajoutant ces tems, 120 à 96 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la glaise et de la craie.

10°. Que le tems du refroidissement de l'ocre est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir : : $14\frac{1}{2}$: $12\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : $11\frac{1}{2}$: 10 par les expériences précédentes (*art. XXXV*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 26 à $22\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant : : 43 : 38, et : : 29 : 26 par les précédentes expériences (*article XXXV*); on aura, en ajoutant ces tems, 72 à 64 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'ocre et de la craie.

L X I.

Ayant mis chauffer ensemble à un grand dégré de chaleur, les boulets de zinc, de bismuth, de marbre blanc, de grès et de gypse, le bismuth, s'est fondu tout à coup, et il n'est resté que les quatre autres, qui se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Gypse, en.........	11.	En................	28.
Grès, en..........	16.	En................	42.
Marbre blanc, en...	19.	En................	50.
Zinc, en...........	23.	En................	57.

LXII.

La même expérience répétée avec les quatre boulets ci-dessus et un boulet de plomb, à un feu moins ardent, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes.
Gypse, en.........	$4\frac{1}{2}$.	En................	16.
Plomb, en.........	$9\frac{1}{2}$.	En................	28.
Grès, en..........	10.	En................	32.
Marbre blanc......	$12\frac{1}{2}$.	En................	36.
Zinc, en..........	15.	En................	43.

On peut conclure de ces deux expériences :

1°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du marbre blanc, au point de pouvoir les tenir : : 38 : 31 $\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : 21 : 17 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes

(*art. XLVIII*) ; ainsi en ajoutant ces tems, on aura 59 à 49 pour le rapport encore plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente, étant : : 100 : 86, et : : 65 : 53 par les expériences précédentes (*art. XLVIII*) ; on aura, en ajoutant ces tems, 165 à 139 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et du marbre blanc.

2°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du grès, au point de les tenir : : 38 : 26 par les présentes expériences, et : : 21 : 15 par les expériences précédentes (*art. XLVIII*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 59 à 41 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant : : 100 : 74, et : : 65 : 47 par les expériences précédentes (*art. XLVIII*) ; on aura, en ajoutant ces tems, 165 à 121 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et du grès.

3°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : 15 : 9 $\frac{1}{2}$ par la présente expérience, et : : 73

: 43 $\frac{3}{4}$ par les expériences précédentes (art. XVII); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 89 à 53 $\frac{1}{4}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement : et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente, étant :: 43 : 20, et :: [illegible] : [illegible] par les expériences précédentes (art. XVII) : on aura, en ajoutant ces tems, [illegible] à 209 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et du plomb.

4°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir :: [illegible] : 15 $\frac{1}{2}$, et :: 100 : [illegible] pour leur entier refroidissement.

5°. Que le tems du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement du grès, au point de les tenir :: 31 $\frac{1}{2}$: 26 par les présentes expériences, et :: 38 $\frac{1}{2}$: 32 par les expériences précédentes (*art.* XLVIII); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 70 à 58 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant :: 86 : 74, et :: 112 : 104 par les expériences précédentes

(*art. XLVIII*) ; on aura, en ajoutant ces tems, 198 à 178 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du marbre blanc et du grès.

6°. Que le tems du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement du plomb, au point de les tenir : : 12 ½ : 9 ½, et : : 36 : 20 pour leur entier refroidissement.

7°. Que le tems du refroidissement du marbre blanc est à celui du refroidissement du gypse, au point de pouvoir les tenir : : 51 : 15 ½, et : : 86 : 44 pour leur entier refroidissement.

8°. Que le tems du refroidissement du grès est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : 10 : 9 ½ par la présente expérience, et : : 59 : 51 ½ par les expériences précédentes (*art. XLIV*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 69 ½ à 61 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant : : 32 : 20, et : : 187 : 178 par les expériences précédentes (*art. XLIV*); on aura, en ajoutant ces tems, 211 à 96 pour le rapport

encore plus précis de l'entier refroidissement du grès et du plomb.

9°. Que le tems du refroidissement du grès est à celui du refroidissement du gypse, au point de pouvoir les tenir : : 26 : 15 ½ par les présentes expériences, et : : 55 : 21 ½ par les expériences précédentes (*article XXXIII*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 81 à 37 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant : : 74 : 44, et : : 170 : 78 par les expériences précédentes (*article XXXIII*); on aura, en ajoutant ces tems, 244 à 122 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du grès et du gypse.

10°. Que le tems du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement du gypse, au point de pouvoir les tenir : : 9 ½ : 4 ½, et : : 28 : 16 pour leur entier refroidissement.

LXIII.

Ayant fait chauffer ensemble les boulets de cuivre, d'antimoine, de marbre commun, de pierre calcaire tendre et de craie, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	*Refroidis à la température.*
minutes.	minutes.
Craie, en .... $6\frac{1}{2}$.	En .... 20.
Antimoine, en ..... $7\frac{1}{2}$.	En .... 26.
Pierre tendre, en... $7\frac{1}{2}$.	En .... 26.
Marbre commun, en. $11\frac{1}{2}$.	En .... 31.
Cuivre, en .... 16.	En................ 49.

LXIV.

La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	*Refroidis à la température.*
minutes.	minutes.
Craie, en.......... $5\frac{1}{2}$.	En .... 18.
Antimoine, en..... 6.	En .... 24.
Pierre tendre, en... 8.	En .... 23.
Marbre commun, en. 10.	En .... 29.
Cuivre, en .... $13\frac{1}{2}$.	En................ 38.

On peut conclure de ces deux expériences :

1°. Que le tems du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement du marbre commun, au point de pouvoir les tenir : : $29\frac{1}{2}$: $21\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : 45 : $35\frac{1}{2}$ par les expériences

précédentes (*art. V*) ; ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 74 $\frac{1}{2}$ à 57 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant : : 87 : 60, et : : 125 : 111 par les expériences précédentes (*art. V*) ; on aura, en ajoutant ces tems, 212 à 171 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du cuivre et du marbre commun.

2°. Que le tems du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de pouvoir les tenir : : 29 $\frac{1}{2}$: 15 : $\frac{1}{2}$ et : : 87 : 49 pour leur entier refroidissement.

3°. Que le tems du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de l'antimoine au point de les tenir : : 29 $\frac{1}{2}$: 13 $\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : 28 : 16 par les expériences précédentes (*art. XLI*) ; ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 57 $\frac{1}{2}$ à 29 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes, étant : : 87 : 50, et : : 80 : 47 par les expériences précédentes (*art. XLI*) ; on aura, en ajoutant ces tems, 167 à 97 pour le rapport encore plus précis de l'en-

tier refroidissement du cuivre et de l'antimoine.

4°. Que le tems du refroidissement du cuivre est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir : : 29 $\frac{1}{2}$: 12, et : : 87 : 38 pour leur entier refroidissement.

5°. Que le tems du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement de la pierre tendre, au point de pouvoir les tenir : : 21 $\frac{1}{2}$: 14 par les expériences présentes, et : : 29 $\frac{1}{2}$: 23 par les expériences précédentes (*art.* XXX); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 50 $\frac{1}{2}$ à 37 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant : : 60 : 49, et : : 87 : 68 par les expériences précédentes (*art.* XX); on aura, en ajoutant ces tems, 147 à 117 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du marbre commun et de la pierre tendre.

6°. Que le tems du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de les tenir : : 21 $\frac{1}{2}$: 13 $\frac{1}{2}$, et : : 60 : 50 pour leur entier refroidissement.

7°. Que le tems du refroidissement du marbre commun est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir :: 21 ½ : 12, et :: 60 : 38 pour leur entier refroidissement.

8°. Que le tems du refroidissement de la pierre tendre est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir :: 14 : 13 ½, et :: 49 : 50 pour leur entier refroidissement.

9°. Que le tems du refroidissement de la pierre tendre, est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir :: 14 : 12, et :: 49 : 38 pour leur entier refroidissement.

10°. Que le tems du refroidissement de l'antimoine est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir :: 13 ½ : 12, et :: 50 : 38 pour leur entier refroidissement.

L X V.

Ayant fait chauffer ensemble les boulets de plomb, d'étain, de verre, de pierre calcaire dure, d'ocre et de glaise, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.	minutes.	*Refroidis à la température.*	minutes
Ocre, en	5.	En	16.
Glaise, en	7½.	En	20.
Etain, en	8½.	En	21.
Plomb, en	9½.	En	23.
Verre, en	10.	En	27.
Pierre dure, en	10½.	En	29.

Il résulte de cette expérience :

1°. Que le tems du refroidissement de la pierre dure est à celui du refroidissement du verre, au point de les tenir : : 10 ½ : 10 par la présente expérience, et : : 20 ½ : 17 par les expériences précédentes (*art. LIV*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 31 à 37 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience, étant : : 29 : 27, et : : 62 : 49 par les expériences précédentes (*art. LIV*); on aura, en ajoutant ces tems, 91 à 76 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la pierre dure et du verre.

2°. Que le tems du refroidissement du verre est à celui du refroidissement du

plomb, au point de pouvoir les tenir : : 10 : 9 $\frac{1}{2}$ par la présente expérience, et : : 12 : 11 par les expériences précédentes (*art. XXXIX*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 22 à 20 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par l'expérience présente, étant : : 27 : 23, et : : 35 : 30 par les expériences précédentes (*art. XXXIX*); on aura, en ajoutant ces tems, 62 à 53 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du verre et du plomb.

3°. Que le tems du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de l'étain, au point de pouvoir les tenir : : 10 : 8 $\frac{1}{2}$ par la présente expérience, et : : 46 : 42 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. XXXIX*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 56 à 51 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes, étant : : 27 : 21, et par les expériences précédentes (*art. XXXIX*) : : 132 : 117; on aura, en ajoutant ces tems, 159 à 138 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du verre et de l'étain.

4°. Que le tems du refroidissement du

verre est à celui du refroidissement de la glaise, au point de pouvoir les tenir : : 10 : 7 $\frac{1}{2}$, et : : 38 $\frac{1}{2}$: 31 par les expériences précédentes (*art. LX*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 48 $\frac{1}{2}$ à 38 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience, étant : : 27 : 20, et : : 113 : 87 par les expériences précédentes (*art. LX*); on aura, en ajoutant ces tems, 140 à 107 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du verre et de la glaise.

5°. Que le tems du refroidissement du verre est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de pouvoir les tenir : : 10 : 5 par les présentes expériences, et : : 38 $\frac{1}{2}$: 25 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. LX*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 48 $\frac{1}{2}$ à 30 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience, étant : : 27 : 16, et par les expériences précédentes (*art. LX*) : : 113 : 75; on aura, en ajoutant ces tems, 140 à 91 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du verre et de l'ocre.

6°. Que le tems du refroidissement de la pierre dure est à celui du refroidissement du plomb, au point de pouvoir les tenir : : 10 $\frac{1}{2}$: 9 $\frac{1}{2}$, et : : 29 : 23 pour leur entier refroidissement.

7°. Que le tems du refroidissement de la pierre dure est à celui du refroidissement de l'étain au point de les tenir : : 10 $\frac{1}{2}$: 8 $\frac{1}{2}$, et : : 29 : 21 pour leur entier refroidissement.

8°. Que le tems du refroidissement de la pierre dure est à celui du refroidissement de la glaise, au point de les tenir : : 10 $\frac{1}{2}$: 7 $\frac{1}{2}$, et : : 29 : 20 pour leur entier refroidissement.

9°. Que le tems du refroidissement de la pierre dure est à celui du refroidissement de l'ocre au point de les tenir : : 10 $\frac{1}{2}$: 5, et : : 29 : 16 pour leur entier refroidissement.

10°. Que le tems du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de l'étain, au point de les tenir : : 9 $\frac{1}{2}$: 8 $\frac{1}{2}$ par la présente expérience, et : : 36 $\frac{1}{2}$: 31 $\frac{1}{2}$ par es expériences précédentes (*art. XXXIX*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 46 à 40 pour le rapport plus précis de leur

premier refroidissement ; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience, étant : : 23 : 21 , et : : 109 : 89 par les expériences précédentes (*art. XXXIX*) ; on aura , en ajoutant ces tems , 132 à 110 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du plomb et de l'étain.

11°. Que le tems du refroidissement du plomb , est à celui du refroidissement de la glaise , au point de pouvoir les tenir : : 9 $\frac{1}{2}$: 7 $\frac{1}{2}$ par la présente expérience , et : : 7 : 5 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. XXXV*) ; ainsi on aura , en ajoutant ces tems , 16 $\frac{1}{2}$ à 13 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement ; et pour le second , le rapport donné par la présente expérience , étant : : 23 : 20 , et : : 18 . 15 par les expériences précédentes (*art. XXXV*) ; on aura en ajoutant ces tems , 41 à 35 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du plomb et de la glaise.

12°. Que le tems du refroidissement du plomb est à celui du refroidissement de l'ocre , au point de pouvoir les tenir : : 9 $\frac{1}{2}$: 5 par la présente expérience , et : : 7 : 5 par les expériences précédentes (*art. XXXV*) ; ainsi on aura , en ajoutant ces tems , 16 $\frac{1}{2}$ à

10 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience, étant : : 23 : 16, et : : 18 : 13 par les expériences précédentes (*art. XXXV*); on aura, en ajoutant ces tems, 41 à 29 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du plomb et de l'ocre.

13°. Que le tems du refroidissement de l'étain est à celui du refroidissement de la glaise au point de les tenir : : 8 $\frac{1}{2}$: 7 $\frac{1}{2}$, et : : 21 : 20 pour leur entier refroidissement.

14°. Que le tems du refroidissement de l'étain est à celui du refroidissement de l'ocre au point de les tenir : : 8 $\frac{1}{2}$: 5, et : : 21 : 16 pour leur entier refroidissement.

15°. Que le tems du refroidissement de la glaise est à celui du refroidissement de l'ocre, au point de pouvoir les tenir : : 7 $\frac{1}{2}$: 5 par la présente expérience, et : : 43 $\frac{1}{2}$: 37 par les expériences précédentes (*art. LX*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 50 à 42 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par la présente expérience, étant : : 20 : 16, et : : 120 : 104 par les expériences précédentes (*art. LX*); on aura en ajoutant ces tems, 140 à 120 pour le

rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la glaise et de l'ocre.

LXVI.

Ayant fait chauffer ensemble les boulets de zinc, d'antimoine, de pierre calcaire tendre, de craie et de gypse, ils se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		*Refroidis à la température.*	
	minutes.		minutes.
Gypse, en.........	$3\frac{1}{2}$.	En.	11.
Craie, en.........	5.	En.	16.
Antimoine, en.....	6.	En.	22.
Pierre tendre, en...	$7\frac{1}{2}$.	En.	23.
Zinc, en..........	$14\frac{1}{2}$.	En.	29.

LXVII.

La même expérience répétée, les boulets se sont refroidis dans l'ordre suivant :

Refroidis à les tenir pendant une demi-seconde.		*Refroidis à la température.*	
	minutes.		minutes.
Gypse, en.........	$3\frac{1}{2}$.	En	12.
Craie, en.........	$4\frac{3}{4}$.	En................	14.
Antimoine, en.....	6.	En	20.
Pierre tendre, en...	8.	En	21.
Zinc, en..........	$13\frac{1}{2}$.	En	28.

On peut conclure de ces deux expériences;

1°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de la pierre tendre au point de pouvoir les tenir :: 28 : 15 $\frac{1}{2}$, et :: 57 : 44 pour leur entier refroidissement.

2°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de l'antimoine, au point de pouvoir les tenir :: 28 : 12 par les présentes expériences, et :: 94 : 52 par les expériences précédentes (*art. XLVIII*); ainsi en ajoutant ces tems, on aura, 122 à 64 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant :: 57 : 42, et :: 285 : 184 par les expériences précédentes (*article XLVIII*); on aura, en ajoutant ces tems, 342 à 226 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et de l'antimoine.

3°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir :: 28 : 9 $\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et :: 31 : 12 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*article LII*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 59 à 22 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le

second, le rapport donné par les expériences présentes, étant : : 57 : 30, et : : 59 : 38 par les expériences précédentes (*article LII*); on aura, en ajoutant ces tems, 116 à 68 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et de la craie.

4°. Que le tems du refroidissement du zinc est à celui du refroidissement du gypse, au point de pouvoir les tenir : : 28 : 7 par les présentes expériences, et : : 38 : 15 $\frac{1}{2}$ par les expériences précédentes (*art. LXII*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 66 à à 22 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences étant : : 57 : 23, et : : 100 : 44 par les expériences précédentes (*art. LXII*); on aura, en ajoutant ces tems, 157 à 67 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement du zinc et du gypse.

5°. Que le tems du refroidissement de l'antimoine est à celui du refroidissement de la pierre calcaire tendre au point de les tenir : : 12 : 15 $\frac{1}{2}$, et : : 42 : 44 pour leur entier refroidissement.

6°. Que le tems du refroidissement de l'antimoine est à celui du refroidissement

de la craie, au point de pouvoir les tenir : : 12 : 9 $\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : 13 $\frac{1}{2}$: 12 par les expériences précédentes (*art. LXIV*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 25 $\frac{1}{2}$ à 21 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant : : 42 : 30, et : : 50 : 38 par les expériences précédentes (*art. LXIV*); on aura, en ajoutant ces tems, 92 à 68 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de l'antimoine et de la craie.

7°. Que le tems du refroidissement de l'antimoine est à celui du refroidissement du gypse, au point de pouvoir les tenir : : 12 : 7, et : : 42 : 23 pour leur entier refroidissement.

8°. Que le tems du refroidissement de la pierre tendre est à celui du refroidissement de la craie, au point de pouvoir les tenir : : 15 $\frac{1}{2}$: 9 $\frac{1}{2}$ par les présentes expériences, et : : 14 : 12 par les expériences précédentes (*art. LXIV*); ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 29 $\frac{1}{2}$ à 21 $\frac{1}{2}$ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expériences, étant : : 44 : 30, et : : 49 : 38 par les expériences

précédentes (*article LXIV*) ; on aura, en ajoutant ces tems, 93 à 68 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la pierre tendre et de la craie.

9°. Que le tems du refroidissement de la pierre calcaire tendre est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 15 ½ : 7 par les présentes expériences, et : : 12 : 4 ½ par les expériences précédentes (*art. XXXVIII*) ; ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 27 ½ à 11 ½ pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les expériences présentes étant : : 44 : 23, et : : 27 : 14 par les expériences précédentes (*art. XXXVIII*) ; on aura, en ajoutant ces tems, 71 à 37 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la pierre tendre et du gypse.

10°. Que le tems du refroidissement de la craie est à celui du refroidissement du gypse, au point de les tenir : : 9 ½ : 7 par les présentes expériences, et : : 25 : 16 par les expériences précédentes (*art. LVI*) ; ainsi on aura, en ajoutant ces tems, 34 ½ à 23 pour le rapport plus précis de leur premier refroidissement; et pour le second, le rapport donné par les présentes expé-

riences, étant : : 30 : 23, et : : 71 : 57 par les expériences précédentes (*art. LVI*); on aura, en ajoutant ces tems, 101 à 80 pour le rapport encore plus précis de l'entier refroidissement de la craie et du gypse.

Je borne ici cette suite d'expériences assez longues à faire et fort ennuyeuses à lire; j'ai cru devoir les donner telles que je les ai faites à plusieurs reprises dans l'espace de six ans : si je m'étois contenté d'en additionner les résultats, j'aurois à la vérité fort abrégé ce mémoire; mais on n'auroit pas été en état de les répéter, et c'est cette considération qui m'a fait préférer de donner l'énumération et le détail des expériences mêmes, au lieu d'une table abrégée que j'aurois pu faire de leurs résultats accumulés. Je vais néanmoins donner par forme de récapitulation, la table générale de ces rapports tous comparés à 10,000, afin que d'un coup d'œil on puisse en saisir les différences.

TABLE

Des rapports du refroidissement des différentes substances minérales.

FER.

		Premier refroidissement.	Entier refroidis.
Fer et.......	Emeril.......	10000 à 9117—	9020.
	Cuivre.......	10000 à 8512—	8702.
	Or...........	10000 à 8160—	8148.
	Zinc.........	10000 à 7654—	6020.
	Argent.......	10000 à $\overset{6804}{7619}$—	7423.
	Marbre blanc..	10000 à 6774—	6704.
	Marbre commun.......	10000 à 6636—	6746.
	Pierre calcaire dure.......	10000 à 6617—	6274.
	Grès.........	10000 à 5796—	6926.
	Verre........	10000 à 5576—	5805.
	Plomb.......	10000 à 5143—	6482.
	Etain........	10000 à 4898—	4921.
	Pierre calcaire tendre.....	10000 à 4194—	4659.
	Glaise........	10000 à 4198—	4490.
	Bismuth......	10000 à 3580—	4081.
	Craie........	10000 à 3086—	3878.
	Gypse........	10000 à 2325—	2817.
	Bois.........	10000 à 1860—	1549.
	Pierre ponce..	10000 à 1627—	1268.

E M E R I L.

		Premier refroidissement.	Entier refroidis.
Emeril et....	Cuivre.......	10000 à 8519	—8148.
	Or..........	10000 à 8513	—8560.
	Zinc.........	10000 à 8390	—7692.
	Argent.......	10000 à 7778	—7895.
	Pierre calcaire dure.......	10000 à 7304	—6963.
	Grès.........	10000 à 6552	—6517.
	Verre........	10000 à 5862	—5506.
	Plomb........	10000 à 5718	—6643.
	Étain........	10000 à 5658	—6000.
	Glaise........	10000 à 5185	—5185.
	Bismuth......	10000 à 4949	—6060.
	Antimoine....	10000 à 4540	—5827.
	Ocre.........	10000 à 4259	—3827.
	Craie........	10000 à 3684	—4105.
	Gypse........	10000 à 2368	—2947.
	Bois.........	10000 à 1552	—3146.

C U I V R E.

Cuivre et.....	Or...........	10000 à 9136	—9194.
	Zinc.	10000 à 8571	—9250.
	Argent.......	10000 à 8395	—7823.
	Marbre commun.......	10000 à 7638	—8019.
	Grès.........	10000 à 7333	—8160.
	Verre........	10000 à 6667	—6567.
	Plomb.......	10000 à 6179	—7367.
	Etain........	10000 à 5746	—6916.

CUIVRE.

			Premier refroidissement.	Entier refroidis.
Cuivre et....	Pierre calcaire tendre.....	10000 à	5168	5633.
	Glaise........	10000 à	5652	6363.
	Bismuth......	10000 à	5686	5959.
	Antimoine....	10000 à	5130	5808.
	Ocre.........	10000 à	5000	4697.
	Craie.........	10000 à	4068	4368.

OR.

			Premier refroidissement.	Entier refroidis.
Or et........	Zinc..........	10000 à	9474	9304.
	Argent.......	10000 à	8422 / 8936	8686.
	Marbre blanc..	10000 à	8101	7863.
	Marbre commun.......	10000 à	7342	7435.
	Pierre calcaire dure.......	10000 à	7383	7516.
	Grès.........	10000 à	7368	7627.
	Verre	10000 à	7103	5932.
	Plomb.......	10000 à	6526	7500.
	Etain........	10000 à	6324	6051.
	Pierre calcaire tendre	10000 à	6087	5811.
	Glaise........	10000 à	5814	5077.
	Bismuth	10000 à	5658	7043.
	Porcelaine....	10000 à	5526	5593.
	Antimoine....	10000 à	5395	6348.
	Ocre	10000 à	5349	4462.
	Craie........	10000 à	4571	4452.
	Gypse.......	10000 à	2989	3293.

ZINC.

		Premier refroidissement.	Entier refroidis.
Zinc et......	Argent.......	10000 à 8904	—8990.
	Marbre blanc..	10000 à 8305	—8424.
	Grès.........	10000 à 6949	—7333.
	Plomb.......	10000 à 6051	—7947.
	Etain........	10000 à 6777	—6240.
	Pierre calcaire tendre......	10000 à 5536	—7719.
	Glaise........	10000 à 5484	—7458.
	Bismuth......	10000 à 5343	—7547.
	Antimoine....	10000 à 5246	—6608.
	Craie........	10000 à 3729	—5862.
	Gypse.......	10000 à 3409	—4268.

ARGENT.

Argent et....	Marbre blanc.	10000 à 8681	—9200.
	Marbre commun.......	10000 à 7912	—9040.
	Pierre calcaire dure.......	10000 à 7436	—8580.
	Grès.........	10000 à 7361	—7767.
	Verre........	10000 à 7230	—7212.
	Plomb.......	10000 à 7154	—9184.
	Etain........	10000 à 6176	—6289.
	Pierre calcaire tendre.....	10000 à 6178	—6287.
	Glaise........	10000 à 6034	—6710.
	Bismuth......	10000 à 6308	—8877.
	Porcelaine....	10000 à 5556	—5242.

ARGENT.

		Premier refroidissement.	Entier refroidis.
Argent et....	Antimoine....	10000 à 5692	7653.
	Ocre.........	10000 à 5000	5658.
	Craie........	10000 à 4310	5000.
	Gypse........	10000 à 2879	3366.
	Bois.........	10000 à 2353	1864.
	Pierre ponce..	10000 à 2059	1525.

MARBRE BLANC.

Marbre blanc et.........	Marbre commun.......	10000 à 8992	9405.
	Pierre dure...	10000 à 8594	9130.
	Grès.........	10000 à 8286	8990.
	Plomb........	10000 à 7604	5555.
	Etain........	10000 à 7143	6792.
	Pierre calcaire tendre......	10000 à 6792	7218.
	Glaise........	10000 à 6400	6286.
	Antimoine....	10000 à 6286	6792.
	Ocre.........	10000 à 5400	5571.
	Gypse.......	10000 à 4920	5116.
	Bois.........	10000 à 2200	2857.

MARBRE COMMUN.

Marbre commun et.....	Pierre dure...	10000 à 9483	9655.
	Grès.........	10000 à 8767	9273.
	Plomb.......	10000 à 7671	8590.
	Etain........	10000 à 7424	6666.
	Pierre tendre .	10000 à 7327	7959.

MARBRE COMMUN.

		Premier refroidissement,	Entier refroidis.
Marbre commun et.....	Glaise........	10000 à 7272	7213.
	Antimoine....	10000 à 6279	8333.
	Ocre.........	10000 à 6[illegible]36	6393.
	Craie........	10000 à 5581	6333.
	Bois.........	10000 à 2500	3279.

PIERRE CALCAIRE DURE.

Pierre dure et.	Grès.........	10000 à 9268	9355.
	Verre.......	10000 à 8710	8352.
	Plomb........	10000 à 8571	7931.
	Etain........	10000 à 8095	7931.
	Pierre tendre..	10000 à 8000	8095.
	Glaise........	10000 à 6190	6897.
	Ocre.........	10000 à 4762	5517.
	Bois.........	10000 à 2195	4516.

GRÈS.

Grès et......	Verre........	10000 à 9324	7939.
	Plomb........	10000 à 8561	8950.
	Etain........	10000 à 7667	7633.
	Pierre tendre.	10000 à 7647	7193.
	Porcelaine....	10000 à 7364	7059.
	Antimoine....	10000 à 7333	6170.
	Gypse........	10000 à 4568	5000.
	Bois.........	10000 à 2368	4828.

VERRE.

		Premier refroidissement.	Entier refroidis.
Verre et	Plomb........	10000 à 9318	8548.
	Etain	10000 à 9107	8679.
	Glaise........	10000 à 7938	7643.
	Porcelaine....	10000 à 7692	8863.
	Ocre..........	10000 à 6289	6500.
	Craie.........	10000 à 6104	6195.
	Gypse	10000 à 4160	6011.
	Bois..........	10000 à 2647	5514.

PLOMB.

Plomb et	Etain.........	10000 à 8695	8333.
	Pierre tendre..	10000 à 8437	7192.
	Glaise........	10000 à 7878	8536.
	Bismuth	10000 à 8698	8750.
	Antimoine.....	10000 à 8241	8201.

PIERRE CALCAIRE TENDRE.

			Premier refroidissement.	Entier refroidis.
Pierre tendre et	Antimoine	10000 à	7742	9545.
	Craie	10000 à	7288	7312.
	Gypse	10000 à	4182	5211.

GLAISE.

Glaise et	Bismuth	10000 à	8870	9419.
	Ocre	10000 à	8400	8571.
	Craie	10000 à	7701	8000.
	Gypse	10000 à	5185	8055.
	Bois	10000 à	3437	4545.

BISMUTH.

Bismuth et	Antimoine	10000 à	9349	9572.
	Ocre	10000 à	8846	7380.
	Craie	10000 à	8620	9500.

PORCELAINE.

Porcelaine et	Gypse	10000 à	5308	6500.

ANTIMOINE.

Antimoine et	Craie	10000 à	8431	7391.
	Gypse	10000 à	5833	5476.

OCRE.

Ocre et	Craie	10000 à	8654	8889.
	Gypse	10000 à	6364	9062.
	Bois	10000 à	4074	5128.

CRAIE.

	Premier refroidissement.	Entier refroidis.
Craie et Gypse.............	10000 à 6667	7920.

GYPSE.

		Premier refroidissement.	Entier refroidis.
Gypse et.	Bois..........	10000 à 8000	5250.
	Pierre ponce..	10000 à 7000	4500.

BOIS.

	Premier refroidissement.	Entier refroidis.
Bois et pierre ponce..........	10000 à 8750	8182.

Quelque attention que j'aie donnée à mes expériences ; quelque soin que j'aie pris pour en rendre les rapports plus exacts, j'avoue qu'il y a encore quelques imperfections dans cette table qui les contient tous ; mais ces défauts sont légers, et n'influent pas beaucoup sur les résultats généraux ; par exemple, on s'appercevra aisément que le rapport du zinc au plomb, étant de 10,000 à 6,051, celui du zinc à l'étain devroit être moindre de 6,000, tandis qu'il se trouve dans la table de 6,777. Il en est de même de celui de l'argent au bismuth, qui devroit être moindre que 6,308; et encore de celui du plomb à la glaise, qui devroit être de plus de 8,000, et qui ne se trouve être dans la table que de 7,878, mais cela provient de ce que les boulets de plomb

et de bismuth n'ont pas toujours été les mêmes, ils se sont fondus aussi bien que ceux d'étain et d'antimoine, ce qui n'a pu manquer de produire des variations, dont les plus grandes sont les trois que je viens de remarquer. Il ne m'a pas été possible de faire mieux: les différens boulets de plomb, d'étain, de bismuth et d'antimoine dont je me suis successivement servi, étoient faits, à la vérité, sur le même calibre, mais la matière de chacun pouvoit être un peu différente, selon la quantité d'alliage du plomb et de l'étain; car je n'ai eu de l'étain pur que pour les deux premiers boulets: d'ailleurs il reste assez souvent une petite cavité dans ces boulets fondus, et ces petites causes suffisent pour produire les petites différences qu'on pourra remarquer dans ma table.

Il en est de même du rapport de l'étain à l'ocre, qui devroit être de plus de 6,000, et qui ne se trouve dans la table que de 5,882, parce que l'ocre étant une matière friable qui diminue par le frottement, j'ai été obligé de changer trois ou quatre fois les boulets d'ocre. J'avoue qu'en donnant à ces expériences le double du très-long tems que j'y ai employé, j'aurois pu parvenir à un plus grand dégré de précision, mais je me flatte

qu'il y en a suffisamment pour qu'on soit convaincu de la vérité des résultats que l'on peut en tirer. Il n'y a guère que les personnes accoutumées à faire des expériences, qui sachent combien il est difficile de constater un seul fait de la nature, par tous les moyens que l'art peut nous fournir; il faut joindre la patience au génie, et souvent cela ne suffit pas encore, il faut quelquefois renoncer malgré soi au dégré de précision que l'on désireroit, parce que cette précision en exigeroit une toute aussi grande dans toutes les mains dont on se sert, et demanderoit en même tems une parfaite égalité dans toutes les matières que l'on emploie : aussi tout ce que l'on peut faire en physique expérimentale, ne peut pas nous donner des résultats rigoureusement exacts, et ne peut aboutir qu'à des approximations plus ou moins grandes; et quand l'ordre général de ces approximations ne se dément que par de légères variations, on doit être satisfait.

Au reste, pour tirer de ces nombreuses expériences tout le fruit que l'on doit en attendre, il faut diviser les matières qui en font l'objet, en quatre classes ou genres différens.

1°. Les métaux; 2°. les demi-métaux et

minéraux métalliques ; 3°. les substances vitrées et vitrescibles ; 4°. les substances calcaires et calcinables. Comparer ensuite les matières de chaque genre entr'elles, pour tâcher de reconnoître la cause ou les causes de l'ordre que suit le progrès de la chaleur dans chacune ; et enfin, comparer les genres même entr'eux, pour essayer d'en déduire quelques résultats généraux.

I.

L'ordre des six métaux, suivant leur densité, est étain, fer, cuivre, argent, plomb, or ; tandis que l'ordre dans lequel ces métaux reçoivent et perdent la chaleur, est étain, plomb, argent, or, cuivre, fer, dans lequel il n'y a que l'étain qui conserve sa place.

Le progrès et la durée de la chaleur dans les métaux ne suit donc pas l'ordre de leur densité, si ce n'est pour l'étain qui, étant le moins dense de tous, est en même tems celui qui perd le plus tôt sa chaleur ; mais l'ordre des cinq autres métaux nous démontre que c'est dans le rapport de leur fusibilité que tous reçoivent et perdent la chaleur ; car le fer est plus difficile à fondre que le

les plus denses, les molécules de la matière sont probablement de figure assez régulière, pour ne pas laisser entr'elles de très-grands espaces vides; dans d'autres moins denses, leurs figures plus irrégulières, laissent des vides plus nombreux et plus grands, et dans les plus légères les molécules étant en petit nombre, et probablement de figure très-irrégulière, il se trouve mille et mille fois plus de vide que de plein; car on peut démontrer par d'autres expériences, que le volume de la substance même la plus dense, contient encore beaucoup plus d'espace vide que de matière pleine.

Or, la principale cause de la fusibilité, est la facilité que les particules de la chaleur trouvent à séparer les unes des autres ces molécules de la matière pleine : que la somme des vides en soit plus ou moins grande, ce qui fait la densité ou la légèreté, cela est indifférent à la séparation des molécules qui constituent le plein; et la plus ou moins grande fusibilité dépend en entier de la force de cohérence qui tient unies ces parties massives, et s'oppose plus ou moins à leur séparation. La dilatation du volume total est le premier dégré de l'action de la chaleur, et dans les différens métaux, elle se fait dans

le même ordre que la fusion de la masse qui s'opère par un plus grand dégré de chaleur ou de feu. L'étain, qui de tous se fond le plus promptement, est aussi celui qui se dilate le plus vîte, et le fer qui est de tous le plus difficile à fondre, est de même celui dont la dilatation est la plus lente.

D'après ces notions générales qui paroissent claires, précises et fondées sur des expériences que rien ne peut démentir, on seroit porté à croire que la ductilité doit suivre l'ordre de la fusibilité, parce que la plus ou moins grande ductilité semble dépendre de la plus ou moins grande adhésion des parties dans chaque métal; cependant cet ordre de la ductilité des métaux paroît avoir autant de rapport à l'ordre de la densité qu'à celui de leur fusibilité. Je dirois volontiers qu'il est en raison composée des deux autres, mais ce n'est que par estime, et par une présomption qui n'est peut-être pas assez fondée; car il n'est pas aussi facile de déterminer au juste les différens dégrés de la fusibilité que ceux de la densité; et comme la ductilité participe des deux, et qu'elle varie suivant les circonstances, nous n'avons pas encore acquis les connoissances nécessaires pour prononcer affirmativement sur ce sujet,

qui est d'une assez grande importance pour mériter des recherches particulières. Le même métal traité à froid ou à chaud, donne des résultats tout différens : la malléabilité est le premier indice de la ductilité, mais elle ne nous donne néanmoins qu'une notion assez imparfaite du point auquel la ductilité peut s'étendre. Le plomb, le plus souple, le plus malléable des métaux, ne peut se tirer à la filière en fils aussi fins que l'or, ou même que le fer, qui, de tous, est le moins malléable. D'ailleurs il faut aider la ductilité des métaux par l'addition du feu, sans quoi ils s'écrouissent, et deviennent cassans; le fer même, quoique le plus robuste de tous, s'écrouit comme les autres; ainsi la ductilité d'un métal et l'étendue de continuité qu'il peut supporter, dépendent non seulement de sa densité et de sa fusibilité, mais encore de la manière dont on le traite, de la percussion plus lente ou plus prompte, et de l'addition de chaleur ou de feu qu'on lui donne à propos.

I I.

Maintenant si nous comparons les substances qu'on appelle *demi-métaux* et *minéraux métalliques* qui manquent de ductilité, nous

verrons que l'ordre de leur densité est, émeril, zinc, antimoine, bismuth, et que celui dans lequel ils reçoivent et perdent la chaleur est, antimoine, bismuth, zinc, émeril, ce qui ne suit en aucune façon l'ordre de leur densité, mais plutôt celui de leur fusibilité ; l'émeril qui est un minéral ferrugineux, quoiqu'une fois moins dense que le bismuth, conserve la chaleur une fois plus long-tems ; le zinc plus léger que l'antimoine et le bismuth, conserve aussi la chaleur beaucoup plus long-tems ; l'antimoine et le bismuth la reçoivent et la gardent à peu près également. Il en est donc des demi-métaux et des minéraux métalliques comme des métaux : le rapport dans lequel ils reçoivent et perdent la chaleur, est à peu près le même que celui de leur fusibilité, et ne tient que très-peu ou point du tout à celui de leur densité.

Mais en joignant ensemble les six métaux et les quatre demi-métaux ou minéraux métalliques que j'ai soumis à l'épreuve, on verra que l'ordre des densités de ces dix substances minérales est :

Emeril, zinc, antimoine, étain, fer, cuivre, bismuth, argent, plomb, or.

Et que l'ordre dans lequel ces substances s'échauffent et se refroidissent, est :

Antimoine, bismuth, étain, plomb, argent, zinc, or, cuivre, émeril, fer.

Dans lequel il y a deux choses qui ne paroissent pas bien d'accord avec l'ordre de la fusibilité :

1°. L'antimoine qui devroit s'échauffer et se refroidir plus lentement que le plomb, puisqu'on a vu par les expériences de Newton, citées dans le mémoire précédent, que l'antimoine demande pour se fondre, dix dégrés de la même chaleur, dont il n'en faut que huit pour fondre le plomb; au lieu que par mes expériences, il se trouve que l'antimoine s'échauffe et se refroidit plus vîte que le plomb. Mais on observera que Newton s'est servi de régule d'antimoine, et que je n'ai employé dans mes expériences que de l'antimoine fondu; or le régule d'antimoine ou l'antimoine naturel est bien plus difficile à fondre que l'antimoine qui a déjà subi une première fusion; ainsi cela ne fait point une exception à la règle. Au reste, j'ignore quel rapport il y auroit entre l'antimoine naturel ou régule d'antimoine et les autres matières que j'ai fait chauffer et refroidir; mais je présume d'après l'expérience de Newton, qu'il s'échaufferoit et se refroidiroit plus lentement que le plomb.

2°. L'on

2°. L'on prétend que le zinc se fond bien plus aisément que l'argent, par conséquent il devroit se trouver avant l'argent dans l'ordre indiqué par mes expériences, si cet ordre étoit dans tous les cas relatif à celui de la fusibilité ; et j'avoue que ce demi-métal semble, au premier coup d'œil, faire une exception à cette loi que suivent tous les autres ; mais il faut observer : 1°. que la différence donnée par mes expériences entre le zinc et l'argent est fort petite ; 2°. que le petit globe d'argent dont je me suis servi, étoit de l'argent le plus pur, sans la moindre partie de cuivre, ni d'autre alliage, et l'argent pur doit se fondre plus aisément, et s'échauffer plus vîte que l'argent mêlé de cuivre ; 3°. quoique le petit globe de zinc m'ait été donné par un de nos habiles chimistes (1), ce n'est peut-être pas du zinc absolument pur et sans mélange de cuivre, ou de quelqu'autre matière encore moins fusible.

Comme ce soupçon m'étoit resté après toutes mes expériences faites, j'ai remis le globe de zinc à M. Rouelle qui me l'avoit

(1) M. Rouelle, démonstrateur de chimie aux écoles du Jardin du roi.

donné, en le priant de s'assurer s'il ne contenoit pas du fer ou du cuivre, ou quelqu'autre matière qui s'opposeroit à sa fusibilité. Les épreuves en ayant été faites, M. Rouelle a trouvé dans ce zinc une quantité assez considérable de fer ou safran de mars; j'ai donc eu la satisfaction de voir que non seulement mon soupçon étoit bien fondé, mais encore que mes expériences ont été faites avec assez de précision pour faire connoître un mélange dont il n'étoit pas aisé de se douter : ainsi le zinc suit aussi exactement que les autres métaux et demi-métaux, dans le progrès de la chaleur, l'ordre de la fusibilité, et ne fait point une exception à la règle. On peut donc dire en général que le progrès de la chaleur dans les métaux, demi-métaux et minéraux métalliques, est en même raison, ou du moins en raison très-voisine de celle de leur fusibilité (1).

---

(1) *Nota.* Le globe de zinc sur lequel ont été faites toutes les expériences, s'étant trouvé mêlé d'une portion de fer, j'ai été obligé de substituer dans la table générale, aux premiers rapports, de nouveaux rapports que j'ai placés sous les autres; par exemple, le rapport du fer au zinc de 10,000

III.

Les matières vitrescibles et vitrées que j'ai mises à l'épreuve, étant rangées suivant l'ordre de leur densité, sont :

Pierre ponce, porcelaine, ocre, glaise, verre, cristal de roche et grès ; car je dois observer que, quoique le cristal ne soit porté dans la table des poids de chaque matière que pour 6 gros 22 grains, il doit être supposé plus pesant d'environ 1 gros, parce qu'il étoit sensiblement trop petit, et c'est par cette raison que je l'ai exclu de la table générale des rapports, ayant rejeté toutes les expériences que j'ai faites avec ce globe trop petit. Néanmoins le résultat général s'accorde assez avec les autres pour que je puisse le présenter; voici donc l'ordre dans lequel ces différentes substances se sont refroidies.

Pierre ponce, ocre, porcelaine, glaise,

à 7,654 n'est pas le vrai rapport, et c'est celui de 10,000 à 6,804, écrit au-dessous, qu'il faut adopter; il en est de même de toutes les autres corrections que j'ai faites d'un neuvième sur chaque nombre, parce que j'ai reconnu que la portion de fer contenue dans ce zinc, avoit diminué au moins d'un neuvième.

verre, cristal et grès, qui, comme l'on voit, est le même que celui de la densité, car l'ocre ne se trouve ici avant la porcelaine que parce qu'étant une matière friable, il s'est diminué par le frottement qu'il a subi dans les expériences; et d'ailleurs sa densité diffère si peu de la porcelaine, qu'on peut les regarder comme égales.

Ainsi, la loi du progrès de la chaleur dans les matières vitrescibles et vitrées est relative à l'ordre de leur densité, et n'a que peu ou point de rapport avec leur fusibilité, par la raison qu'il faut, pour fondre toutes ces substances, un dégré presqu'égal du feu le plus violent, et que les dégrés particuliers de leur différente fusibilité sont si près les uns des autres, qu'on ne peut pas en faire un ordre composé de termes distincts. Ainsi, leur fusibilité presqu'égale ne faisant qu'un terme, qui est l'extrême de cet ordre de fusibilité, on ne doit pas être étonné de ce que le progrès de la chaleur suit ici l'ordre de la densité, et que ces différentes substances, qui toutes sont également difficiles à fondre, s'échauffent et se refroidissent plus lentement et plus vîte, à proportion de la quantité de matière qu'elles contiennent.

On pourra m'objecter que le verre se fond

plus aisément que la glaise, la porcelaine, l'ocre et la pierre ponce, qui néanmoins s'échauffent et se refroidissent en moins de tems que le verre; mais l'objection tombera lorsqu'on réfléchira qu'il faut pour fondre le verre un feu très-violent dont le dégré est si éloigné des dégrés de chaleur que reçoit le verre dans nos expériences sur le refroidissement, qu'il ne peut influer sur ceux-ci. D'ailleurs, en pulvérisant la glaise, la porcelaine, l'ocre et la pierre ponce, et leur donnant des fondans analogues, comme l'on en donne au sable pour le convertir en verre, il est plus que probable qu'on feroit fondre toutes ces matières au même dégré de feu, et que par conséquent on doit regarder comme égale ou presqu'égale leur résistance à la fusion, et c'est par cette raison que la loi du progrès de la chaleur dans ces matières se trouve proportionnelle à l'ordre de leur densité.

I V.

Les matières calcaires, rangées suivant l'ordre de leur densité, sont :

Craie, pierre tendre, pierre dure, marbre commun, marbre blanc.

L'ordre dans lequel elles s'échauffent et se refroidissent, est craie, pierre tendre, pierre dure, marbre commun et marbre blanc, qui, comme l'on voit, est le même que celui de leur densité. La fusibilité n'y entre pour rien, parce qu'il faut d'abord un très-grand dégré de feu pour les calciner, et que quoique la calcination en divise les parties, on ne doit en regarder l'effet que comme un premier dégré de fusion, et non pas comme une fusion complète ; toute la puissance des meilleurs miroirs ardens suffit à peine pour l'opérer ; j'ai fondu et réduit en une espèce de verre quelques-unes de ces matières calcaires au foyer d'un de mes miroirs, et je me suis convaincu que ces matières peuvent, comme toutes les autres, se réduire ultérieurement en verre, sans y employer aucun fondant, et seulement par la force d'un feu bien supérieur à celui de nos fourneaux. Par conséquent le terme commun de leur fusibilité est encore plus éloigné et plus extrême que celui des matières vitrées, et c'est par cette raison qu'elles suivent aussi plus exactement dans le progrès de la chaleur l'ordre de la densité.

Le gypse blanc, qu'on appelle improprement albâtre, est une matière qui se calcine,

comme tous les autres plâtres, à un dégré de feu plus médiocre que celui qui est nécessaire pour la calcination des matières calcaires; aussi ne suit-il pas l'ordre de la densité dans le progrès de la chaleur qu'il reçoit ou qu'il perd, car quoique beaucoup plus dense que la craie, et un peu plus dense que la pierre calcaire blanche, il s'échauffe et se refroidit néanmoins bien plus promptement que l'une et l'autre de ces matières. Ceci nous démontre que la calcination et la fusion plus ou moins facile, produisent le même effet, relativement au progrès de la chaleur. Les matières gypseuses ne demandent pas, pour se calciner, autant de feu que les matières calcaires, et c'est par cette raison, que quoique plus denses, elles s'échauffent et se refroidissent plus vîte.

Ainsi on peut assurer, en général, que le *progrès de la chaleur, dans toutes les substances minérales, est toujours, à très-peu prés, en raison de leur plus ou moins grande facilité à se calciner ou à se fondre;* mais que quand leur calcination ou leur fusion sont *également difficiles, et qu'elles exigent un dégré de chaleur extrême,* alors le *progrès de la chaleur se fait suivant l'ordre de leur densité.*

ste, j'ai déposé au cabinet du roi,
es d'or, d'argent et de toutes les au-
ubstances métalliques et minérales, qui
servi aux expériences précédentes, afin
rendre plus authentiques, en mettant
à portée de les vérifier, ceux qui voudroient
douter de la vérité de leurs résultats, et de
la conséquence générale que je viens d'en
tirer.

TROISIÈME [illegible]

Observations [illegible]

On [illegible]
tances [illegible]
ce ne sont pas [illegible]
fusibles [illegible]
pour [illegible]
l'émeril [illegible]
plus diffic[illegible]
celles qui [illegible]
plus [illegible]
que la pl[illegible]
accessible [illegible]
roit plus [illegible]
dont on ne [illegible]
encore plus [illegible]
leurs fourneaux [illegible]
produire cet effet [illegible] même [illegible]
tiner les petits grains [illegible]
émoussés, durs, et [illegible]
forme, à de la grosse [illegible]
d'une couleur un peu [illegible]
puisse les faire couler sans [illegible]

matière qui n'a ni ductilité ni fusibilité, ne doit pas être mise au nombre des métaux, dont les propriétés essentielles et communes sont d'être fusibles et ductiles; et la platine, d'après l'examen que j'en ai pu faire, ne me paroît pas être un nouveau métal, différent de tous les autres, mais un mélange, un alliage de fer et d'or, formé par la nature, dans lequel la quantité d'or semble dominer sur la quantité de fer ; et voici les faits sur lesquels je crois pouvoir fonder cette opinion.

De huit onces trente-cinq grains de platine que m'a fournie M. d'Angivillers, et que j'ai présentée à une forte pierre d'aimant il ne m'en est resté qu'une once, un gros, vingt-neuf grains, tout le reste a été enlevé par l'aimant, à deux gros près, qui ont été réduits en poudre qui s'est attachée aux feuilles de papier, et qui les a profondément noircies, comme je le dirai tout-à-l'heure; cela fait donc, à très-peu près, six septièmes du total qui ont été attirés par l'aimant ; ce qui est une quantité si considérable, relativement au tout, qu'il est impossible de se refuser à croire que le fer ne soit contenu dans la substance intime de la platine, et qu'il n'y soit même en assez grande quantité. Il y a plus, c'est que si je ne m'étois pas

lassé de ces expériences, qui ont duré plusieurs jours, j'aurois encore tiré par l'aimant une grande partie du restant de mes huit onces de platine : car l'aimant en attiroit encore quelques grains un à un, et quelquefois deux, quand on a cessé de le présenter. Il y a donc beaucoup de fer dans la platine; et il n'y est pas simplement mêlé, comme matière étrangère, mais intimement uni, et faisant partie de sa substance, ou si l'on veut le nier, il faudra supposer qu'il existe dans la nature une seconde matière qui, comme le fer, est attirable par l'aimant; mais cette supposition gratuite tombera par les autres faits que je vais rapporter.

Toute la platine que j'ai eu occasion d'examiner, m'a paru mélangée de deux matières différentes, l'une noire et très-attirable par l'aimant (1); l'autre, en plus gros grains d'un blanc livide, un peu jaunâtre et beaucoup moins magnétique que la première. Entre ces deux matières, qui sont les deux extrêmes de cette espèce de mélange, se

---

(1) Delametherie a prouvé que ces particules noirâtres étoient un véritable *ethiops* minéral, qui a pu être produit par le feu ou par l'eau.

SONNINI.

trouvent toutes les nuances intermédiaires, soit pour le magnétisme, soit pour la couleur et la grosseur des grains. Les plus magnétiques, qui sont en même tems les plus noirs et les plus petits, se réduisent aisément en poudre par un frottement assez léger, et laissent sur le papier blanc la même couleur que le plomb frotté. Sept feuilles de papier dont on s'est servi successivement pour exposer la platine à l'action de l'aimant, ont été noircies sur toute l'étendue qu'occupoit la platine, les dernières feuilles moins que les premières, à mesure qu'elle se trioit, et que les grains qui restoient étoient moins noirs et moins magnétiques. Les plus gros grains qui sont les plus colorés, et les moins magnétiques, au lieu de se réduire en poussière, comme les petits grains noirs, sont au contraire très-durs et résistent à toute trituration; néanmoins ils sont susceptibles d'extension dans un mortier d'agate (1), sous les coups réitérés d'un pilon de même matière, et j'en ai aplati et étendu plusieurs

---

(1) *Nota.* Je n'ai pas voulu les étendre sur le tas d'acier, dans la crainte de leur communiquer plus de magnétisme qu'ils n'en ont naturellement.

grains au double et au triple de l'étendue de leur surface ; cette partie de la platine a donc un certain dégré de malléabilité et de ductilité, tandis que la partie noire ne paroît être ni malléable ni ductile. Les grains intermédiaires participent des qualités des deux extrêmes, ils sont aigres et durs, ils se cassent ou s'étendent plus difficilement sous les coups du pilon et donnent un peu de poudre noire, mais moins noire que la première.

Ayant recueilli cette poudre noire et les grains les plus magnétiques que l'aimant avoit attirés les premiers, j'ai reconnu que le tout étoit du vrai fer, mais dans un état différent du fer ordinaire. Celui-ci réduit en poudre et en limaille, se charge de l'humidité et se rouille aisément ; à mesure que la rouille le gagne, il devient moins magnétique et finit absolument par perdre cette qualité magnétique, lorsqu'il est entièrement et intimement rouillé : au lieu que cette poudre de fer, ou si l'on veut, ce sablon ferrugineux qui se trouve dans la platine, est au contraire inaccessible à la rouille, quelque long-tems qu'il soit exposé à l'humidité ; il est aussi plus infusible et beaucoup moins dissoluble que le fer ordinaire, mais

ce n'en est pas moins du fer, qui ne m'a paru différer du fer connu, que par une plus grande pureté. Ce sablon est en effet du fer absolument dépouillé de toutes les parties combustibles, salines et terreuses, qui se trouvent dans le fer ordinaire et même dans l'acier; il paroît enduit et recouvert d'un vernis vitreux, qui le défend de toute altération. Et ce qu'il y a de très-remarquable, c'est que ce sablon de fer pur n'appartient pas exclusivement, à beaucoup près, à la mine de platine; j'en ai trouvé, quoique toujours en petite quantité, dans plusieurs endroits où l'on a fouillé les mines de fer qui se consomment à mes forges. Comme je suis dans l'usage de soumettre à plusieurs épreuves toutes les mines que je fais exploiter avant de me déterminer à les faire travailler en grand pour l'usage de mes fourneaux, je fus assez surpris de voir que dans quelques-unes de ces mines, qui toutes sont en grains, et dont aucune n'est attirable par l'aimant, il se trouvoit néanmoins des particules de fer un peu arrondies et luisantes comme de la limaille de fer, et tout-à-fait semblables au sablon ferrugineux de la platine, elles sont tout aussi magnétiques, tout aussi peu fusibles, tout aussi difficilement dissolubles; tel fut le résultat

de

de la comparaison que je fis du sablon de la platine, et de ce sablon trouvé dans deux de mes mines de fer, à trois pieds de profondeur, dans des terrains où l'eau pénètre assez facilement : j'avois peine à concevoir d'où pouvoient provenir ces particules de fer ; comment elles avoient pu se défendre de la rouille, depuis des siècles qu'elles sont exposées à l'humidité de la terre, enfin comment ce fer très-magnétique pouvoit avoir été produit dans des veines de mines qui ne le sont point du tout. J'ai appelé l'expérience à mon secours, et je me suis assez éclairé sur tous ces points pour être satisfait. Je savois, par un grand nombre d'observations, qu'aucune de nos mines de fer en grains, n'est attirable par l'aimant ; j'étois bien persuadé, comme je le suis encore, que toutes les mines de fer qui sont magnétiques, n'ont acquis cette propriété que par l'action du feu, que les mines du nord, qui sont assez magnétiques pour qu'on les cherche avec la boussole, doivent leur origine à l'élément du feu, tandis que toutes nos mines en grains qui ne sont point du tout magnétiques, n'ont jamais subi l'action du feu, et n'ont été formées que par le moyen ou l'intermède de l'eau.

Je pensai donc que ce sablon ferrugineux et magnétique que je trouvois en petite quantité dans mes mines de fer, devoit son origine au feu; et ayant examiné le local, je me confirmai dans cette idée. Le terrain où se trouve ce sablon magnétique est en bois, de tems immémorial, on y a fait très-anciennement, et on y fait tous les jours des fourneaux de charbon; il est aussi plus que probable qu'il y a eu dans ces bois des incendies considérables. Le charbon et le bois brûlé, surtout en grande quantité, produisent du mâchefer, et ce mâchefer renferme la partie la plus fixe du fer que contiennent les végétaux; c'est ce fer fixe qui forme le sablon dont il est question, lorsque le mâchefer se décompose par l'action de l'air, du soleil et des pluies : car alors ces particules de fer pur qui ne sont point sujettes à la rouille, ni à aucune autre espèce d'altération, se laissent entraîner par l'eau et pénètrent dans la terre avec elle à quelques pieds de profondeur. On pourra vérifier ce que j'avance ici, en faisant broyer du mâchefer bien brûlé, on y trouvera toujours une petite quantité de ce fer pur, qui ayant résisté à l'action du feu, résiste également à celle des dissolvans, et

ne donne point de prise à la rouille (1).

M'étant satisfait sur ce point, et après avoir comparé le sablon fin de mes mines de fer et du mâchefer avec celui de la platine, assez pour ne pouvoir douter de leur identité, je ne fus pas long-tems à penser, vu la pesanteur spécifique de la platine, que si ce sablon de fer pur, provenant de la

---

(1) J'ai reconnu dans le cabinet d'Histoire Naturelle, des sablons ferrugineux de même espèce que celui de mes mines, qui m'ont été envoyés de différens endroits, et qui sont également magnétiques. On en trouve à Quimper en Bretagne, en Danemarck, en Sibérie, à Saint-Domingue; et les ayant tous comparés, j'ai vu que le sablon ferrugineux de Quimper étoit celui qui ressembloit le plus au mien, et qu'il n'en différoit que par un peu plus de pesanteur spécifique. Celui de Saint-Domingue est plus léger, celui de Danemarck est moins pur et plus mélangé de terre, et celui de Sibérie est en masse et en morceaux gros comme le pouce, solides, pesans, et que l'aimant soulève à-peu-près comme il feroit une masse de fer pur. On peut donc présumer que ces sablons magnétiques provenant du mâchefer, se trouvent aussi communément que le mâchefer même; mais seulement en bien plus petite quantité. Il est rare qu'on en trouve des amas un peu considérables, et c'est par cette raison qu'ils ont échappé, pour la plupart, aux recherches des minéralogistes.

décomposition du mâchefer, au lieu d'être dans une mine de fer, se trouvoit dans le voisinage d'une mine d'or, il auroit, en s'unissant à ce dernier métal, formé un alliage qui seroit absolument de la même nature que la platine. On sait que l'or et le fer ont un grand dégré d'affinité; on sait que la plupart des mines de fer contiennent une petite quantité d'or; on sait donner à l'or la teinture, la couleur et même l'aigre du fer en les faisant fondre ensemble; on emploie cet or couleur de fer sur différens bijoux d'or, pour en varier les couleurs; et cet or mêlé de fer est plus ou moins gris, et plus ou moins aigre, suivant la quantité de fer qui entre dans le mélange. J'en ai vu d'une teinte absolument semblable à la couleur de la platine. Ayant demandé à un orfévre quelle étoit la proportion de l'or et du fer dans ce mélange qui étoit de la couleur de la platine, il me dit que l'or de 24 karats n'étoit plus qu'à 18 karats, et qu'il y entroit un quart de fer. On verra que c'est à peu près la proportion qui se trouve dans la platine naturelle, si l'on en juge par la pesanteur spécifique. Cet or mêlé de fer est plus dur, plus aigre et spécifiquement moins pesant que l'or pur; toutes ces convenances,

toutes ces qualités communes avec la pla-
tine, m'ont persuadé que ce prétendu métal
n'est dans le vrai qu'un alliage d'or et de
fer, et non pas une substance particulière,
un métal nouveau, parfait et différent de
tous les autres métaux, comme les chimistes
l'ont avancé (1).

On peut d'ailleurs se rappeler que l'alliage
aigrit tous les métaux, et que quand il y a
pénétration, c'est-à-dire, augmentation
dans la pesanteur spécifique, l'alliage est
d'autant plus aigre que la pénétration est
plus grande, et le mélange devient plus
intime, comme on le reconnoît dans l'alliage
appelé *métal des cloches*, quoiqu'il soit com-
posé de deux métaux très-ductiles. Or, rien
n'est plus aigre ni plus pesant que la pla-
tine; cela seul auroit dû faire soupçonner
que ce n'est qu'un alliage fait par la nature,
un mélange de fer et d'or, qui doit sa pesan-

---

(1) Il paroit néanmoins certain, d'après les re-
cherches et les travaux des chimistes plus modernes,
que la platine n'est point une substance composée d'or
et de fer, mais qu'elle est un métal véritable et
particulier, qu'en employant divers procédés, on peut
dépouiller du fer qui, pour l'ordinaire, y est allié.

SONNINI.

teur spécifique en partie à ce dernier métal, et peut-être aussi en grande partie à la pénétration des deux matières dont il est composé.

Néanmoins cette pesanteur spécifique de la platine n'est pas aussi grande que nos chimistes l'ont publié. Comme cette matière traitée seule et sans addition de fondans est très-difficile à réduire en masse, qu'on n'en peut obtenir au feu du miroir brûlant que de très-petites masses, et que les expériences hydrostatiques faites sur des petits volumes, sont si défectueuses qu'on n'en peut rien conclure ; il me paroît qu'on s'est trompé sur l'estimation de la pesanteur spécifique de ce minéral. J'ai mis de la poudre d'or dans un petit tuyau de plume que j'ai pesé très-exactement, j'ai mis dans le même tuyau un égal volume de platine, il pesoit près d'un dixième de moins, mais cette poudre d'or étoit beaucoup trop fine en comparaison de la platine. M. Tillet, qui joint à une connoissance approfondie des métaux, le talent rare de faire des expériences avec la plus grande précision, a bien voulu répéter à ma prière, celle de la pesanteur spécifique de la platine comparée à l'or pur. Pour cela, il s'est servi comme moi d'un tuyau de

plume, et il a fait couper à la cisaille de l'or à 24 karats, réduit autant qu'il étoit possible à la grosseur des grains de la platine, et il a trouvé, par huit expériences, que la pesanteur de la platine différoit de celle de l'or pur d'un quinzième à très-peu près, mais nous avons observé tous deux, que les grains d'or coupés à la cisaille avoient les angles beaucoup plus vifs que la platine; celle-ci vue à la loupe, est à peu près de la forme des galets roulés par l'eau, tous les angles sont émoussés, elle est même douce au toucher, au lieu que les grains de cet or coupés à la cisaille, avoient des angles vifs et des pointes tranchantes, en sorte qu'ils ne pouvoient pas s'ajuster ni s'entasser les uns sur les autres aussi aisément que ceux de la platine; tandis qu'au contraire la poudre d'or dont je me suis servi, étoit de l'or en paillettes, telles que les arpailleurs les trouvent dans le sable des rivières. Ces paillettes s'ajustent beaucoup mieux les unes contre les autres; j'ai trouvé environ un dixième de différence entre le poids spécifique de ces paillettes et celui de la platine; néanmoins ces paillettes ne sont pas ordinairement d'or pur, il s'en faut souvent plus de deux ou trois karats, ce qui en doit

diminuer en même rapport la pesanteur spécifique; ainsi tout bien considéré et comparé, nous avons crû qu'on pouvoit maintenir le résultat de mes expériences, et assurer que la platine en grains et telle que la nature la produit, est au moins d'un onzième ou d'un douzième moins pesante que l'or. Il y a toute apparence que cette erreur de fait sur la densité de la platine, vient de ce qu'on ne l'aura pas pesée dans son état de nature, mais seulement après l'avoir réduite en masse : et comme cette fusion ne peut se faire que par l'addition d'autres matières et à un feu très-violent, ce n'est plus de la platine pure, mais un composé dans lequel sont entrées des matières fondantes, et duquel le feu a enlevé les parties les plus légères (1).

Ainsi la platine au lieu d'être d'une den-

---

(1) Des expériences plus récentes ont prouvé, comme je viens de le dire dans une des notes précédentes, que la platine purifiée est plus pesante que l'or. Un membre de l'Institut national de France, Borda, a pesé spécifiquement avec beaucoup de précision, différens morceaux de platine purifiée, dont le plus dense, qui avoit été écrouï, lui a donné 20,980. *Voyez le Journal des Mines, année* 1797, *n°. 30, p.* 466.

SONNINI.

sité égale ou presqu'égale à celle de l'or pur, comme l'ont avancé les auteurs qui en ont écrit, n'est que d'une densité moyenne entre celle de l'or et celle du fer, et seulement plus voisine de celle de ce premier métal que de celle du dernier. Supposant donc que le pied cube d'or pèse 1326 l., et celui du fer pur 580 l., celui de la platine en grains se trouvera peser environ 1194 liv., ce qui supposeroit plus des trois quarts d'or sur un quart de fer dans cet alliage, s'il n'y a pas de pénétration; mais comme on en tire six 7mes. à l'aimant, on pourroit croire que le fer y est en quantité de plus d'un quart, d'autant plus qu'en s'obstinant à cette expérience, je suis persuadé qu'on viendroit à bout d'enlever avec un fort aimant, toute la platine jusqu'au dernier grain. Néanmoins on n'en doit pas conclure que le fer y soit contenu en si grande quantité; car lorsqu'on le mêle par la fonte avec l'or, la masse qui résulte de cet alliage est attirable par l'aimant, quoique le fer n'y soit qu'en petite quantité; j'ai vu entre les mains de M. Baumé, un bouton de cet alliage pesant 66 grains, dans lequel il n'étoit entré que six grains, c'est-à-dire, un 11me. de fer, et ce bouton se laissoit enlever aisément par un bon aimant. Dès-

lors la platine pourroit bien ne contenir qu'un 11me de fer sur dix 11mes d'or, et donner néanmoins les mêmes phénomènes, c'est-à-dire, être attirée en entier par l'aimant; et cela s'accorderoit parfaitement avec la pesanteur spécifique qui est d'un 12me moindre que celle de l'or.

Mais ce qui me fait présumer que la platine contient plus d'un 11me de fer sur dix 11mes d'or, c'est que l'alliage qui résulte de cette proportion est encore couleur d'or, et beaucoup plus jaune que ne l'est la platine la plus colorée, et qu'il faut un quart de fer sur trois quarts d'or, pour que l'alliage ait précisément la couleur naturelle de la platine. Je suis donc très-porté à croire qu'il pourroit bien y avoir cette quantité d'un quart de fer dans la platine. Nous nous sommes assurés, M. Tillet et moi, par plusieurs expériences, que le sablon de ce fer pur que contient la platine, est plus pesant que la limaille de fer ordinaire; ainsi cette cause ajoutée à l'effet de la pénétration, suffit pour rendre raison de cette grande quantité de fer contenue sous le petit volume indiqué par la pesanteur spécifique de la platine.

Au reste, il est très-possible que je me

trompe dans quelques-unes des conséquences que j'ai cru devoir tirer de mes observations sur cette substance métallique : je n'ai pas été à portée d'en faire un examen aussi approfondi que je l'aurois voulu : ce que j'en dis, n'est que ce que j'ai vu, et pourra peut-être servir à faire voir mieux.

Première Addition.

Comme j'étois sur le point de livrer ces feuilles à l'impression, le hasard fit que je parlai de mes idées sur la platine à M. le comte de Milly, qui a beaucoup de connoissances en physique et en chimie ; il me répondit qu'il pensoit à peu près comme moi sur la nature de ce minéral. Je lui donnai le mémoire ci-dessus pour l'examiner ; et deux jours après il eut la bonté de m'envoyer les observations suivantes, que je crois aussi bonnes que les miennes, et qu'il m'a permis de publier ensemble.

« J'ai pesé exactement 36 grains de platine, je l'ai étendue sur une feuille de papier blanc pour pouvoir mieux l'observer avec une bonne loupe ; j'y ai aperçu, ou j'ai cru y apercevoir très-distinctement trois substances différentes ; la première avoit le bril-

lant métallique, elle étoit la plus abondante; la seconde vitriforme, tirant sur le noir, ressemble assez à une matière métallique ferrugineuse, qui auroit subi un dégré de feu considérable, telles que des scories de fer, appelées vulgairement *mâchefer;* la troisième, moins abondante que les deux premières, est du sable de toutes couleurs où cependant le jaune, couleur de topaze, domine; chaque grain de sable considéré à part, offre à la vue des cristaux réguliers de différentes couleurs; j'en ai remarqué de cristallisés en aiguilles hexagones, se terminant en pyramides, comme le cristal de roche, et il m'a semblé que ce sable n'étoit qu'un *detritus* de cristaux de roche ou de quartz de différentes couleurs.

» Je formai le projet de séparer, le plus exactement possible, ces différentes substances, par le moyen de l'aimant et de mettre à part la partie la plus attirable à l'aimant, d'avec celle qui l'étoit moins, et enfin de celle qui ne l'étoit pas du tout, ensuite d'examiner chaque substance en particulier, et de les soumettre à différentes épreuves chimiques et mécaniques.

» Je mis à part les parties de la platine qui furent attirées avec vivacité, à la distance

de deux ou trois lignes, c'est-à-dire, sans le contact de l'aimant, et je me servis pour cette expérience, d'un bon aimant factice de M. l'abbé.... ; ensuite je touchai avec ce même aimant le métal, et j'en enlevai tout ce qui voulut céder à l'effort magnétique, que je mis à part; je pesai ce qui étoit resté et qui n'étoit presque plus attirable ; cette matière non attirable, et que je nommerai *n*°. 4, pesoit vingt-trois grains ; *n*°. 1er qui étoit le plus sensible à l'aimant, pesoit quatre grains ; *n*°. 2, pesoit de même quatre grains ; et *n*°. 3, cinq grains.

» *N*°. 1er examiné à la loupe, n'offroit à la vue qu'un mélange de parties métalliques, d'un blanc sale, tirant sur le gris, aplaties et arrondies, en forme de galets et de sable noir vitriforme, ressemblant à du mâchefer pilé, dans lequel on apperçoit des parties très-rouillées, enfin telles que les scories de fer en présentent, lorsqu'elles ont été exposées à l'humidité.

» *N*°. 2 présentoit à peu près la même chose, à l'exception que les parties métalliques dominoient, et qu'il n'y en avoit que très-peu de rouillées.

» *N*°. 3 étoit la même chose, mais les parties métalliques étoient plus volumineuses,

elles ressembloient à du métal fondu, et qui a été jeté dans l'eau, pour le diviser en grenailles, elles sont aplaties, elles affectent toutes sortes de figures, mais arrondies sur les bords, à la manière des galets qui ont été roulés et polis par les eaux.

» *N°*. 4 qui n'avoit point été enlevé par l'aimant, mais dont quelques parties donnoient encore des marques de sensibilité au magnétisme, lorsqu'on passoit l'aimant sous le papier où elles étoient étendues, étoit un mélange de sable, de parties métalliques et de vrai mâchefer friable sous les doigts, qui noircissoit à la manière du mâchefer ordinaire. Le sable sembloit être composé de petits cristaux de topaze, de cornaline et de cristal de roche; j'en écrasai quelques cristaux sur un tas d'acier, et la poudre qui en résulta étoit comme du vernis réduit en poudre; je fis la même chose au mâchefer, il s'écrasa avec la plus grande facilité, et il m'offrit une poudre noire ferrugineuse qui noircissoit le papier comme le mâchefer ordinaire.

» Les parties métalliques de ce dernier (*n°*. 4), me parurent plus ductiles sous le marteau que celles du *n°*. 1er., ce qui me fit croire qu'elles contenoient moins de fer que

les premières; d'où il s'ensuit que la platine pourroit fort bien n'être qu'un mélange de fer et d'or fait par la nature, ou peut-être de la main des hommes, comme je le dirai par la suite.

» Je tâcherai d'examiner, par tous les moyens qui me seront possibles, la nature de la platine, si je peux en avoir à ma disposition en suffisante quantité; en attendant, voici les expériences que j'ai faites :

» Pour m'assurer de la présence du fer dans la platine, par des moyens chimiques, je pris les deux extrêmes, c'est-à-dire, *n*°. 1$^{er.}$ qui étoit très-attirable à l'aimant, et *n*°. 4 qui ne l'étoit pas, je les arrosai avec l'esprit de nitre un peu fumant, j'observai avec la loupe ce qui en résulteroit, mais je n'y apperçus aucun mouvement d'effervescence; j'y ajoutai de l'eau distillée, et il ne se fit encore aucun mouvement, mais les parties métalliques se décapèrent, et elles prirent un nouveau brillant semblable à celui de l'argent; j'ai laissé ce mélange tranquille pendant cinq ou six minutes, et ayant encore ajouté de l'eau, j'y laissai tomber quelques gouttes de la liqueur alkaline saturée de la matière colorante du bleu de Prusse, et sur

le champ le *n*°. 1er. me donna un très-beau bleu de Prusse.

» Le *n*°. 4 ayant été traité de même, et quoiqu'il se fût refusé à l'action de l'aimant et à celle de l'esprit de nitre, me donna de même que le *n*°. 1er. du très-beau bleu de Prusse.

» Il y a deux choses fort singulières à remarquer dans ces expériences, 1°. il passe pour constant parmi les chimistes qui ont traité de la platine, que l'eau forte ou l'esprit de nitre n'a aucune action sur elle; cependant, comme on vient de le voir, il s'en dissout assez, quoique sans effervescence, pour donner du bleu de Prusse lorsqu'on y ajoute de la liqueur alkaline phlogistiquée et saturée de la matière colorante, qui, comme on sait, précipite le fer en bleu de Prusse.

» 2°. La platine qui n'est pas sensible à l'aimant, n'en contient pas moins du fer, puisque l'esprit de nitre en dissout assez, sans occasionner d'effervescence, pour former du bleu de Prusse.

» D'où il s'ensuit que cette substance, que les chimistes modernes, peut-être trop avides du merveilleux et de vouloir donner du

du nouveau, regardent comme un huitième métal, pourroit bien n'être, comme je l'ai dit, qu'un mélange d'or et de fer.

» Il reste sans doute bien des expériences à faire pour pouvoir déterminer comment ce mélange a pu avoir lieu, si c'est l'ouvrage de la nature, et comment; ou si c'est le produit de quelque volcan, ou simplement le produit des travaux que les Espagnols ont faits dans le nouveau monde pour retirer l'or des mines du Pérou : je ferai mention par la suite de mes conjectures là dessus.

» Si l'on frotte de la platine naturelle sur un linge blanc, elle le noircit comme pourroit le faire le mâchefer ordinaire, ce qui m'a fait soupçonner que ce sont les parties de fer réduites en mâchefer qui se trouvent dans la platine qui donnent cette couleur, et qui ne sont dans cet état que pour avoir éprouvé l'action d'un feu violent. D'ailleurs ayant examiné une seconde fois de la platine avec ma loupe, j'y apperçus différens globules de mercure coulant, ce qui me fit imaginer que la platine pourroit bien être un produit de la main des hommes, et voici comment.

» La platine, à ce qu'on m'a dit, se tire des mines les plus anciennes du Pérou, que

les Espagnols ont exploitées après la conquête du nouveau monde ; dans ces tems reculés on ne connoissoit guère que deux manières d'extraire l'or des sables qui le contenoient ; 1°. par l'amalgame du mercure, 2°. par le départ à sec : on trituroit le sable aurifère avec du mercure, et lorsqu'on jugeoit qu'il s'étoit chargé de la plus grande partie de l'or, on rejetoit le sable, qu'on nommoit *crasse*, comme inutile et de nulle valeur.

» Le départ à sec se faisoit avec aussi peu d'intelligence ; pour y vaquer, on commençoit par minéraliser les métaux aurifères par le moyen du soufre, qui n'a point d'action sur l'or, dont la pesanteur spécifique est plus grande que celle des autres métaux ; mais pour faciliter sa précipitation on ajoute du fer en limaille qui s'empare du soufre surabondant, méthode qu'on suit encore aujourd'hui (1). La force du feu vitrifie une partie du fer, l'autre se combine avec une petite portion d'or et même d'argent qui le mêle avec les scories, d'où on ne peut le

(1) Voyez les Elémens docimastiques de Cramer ; l'art de traiter les mines, par Schulter, Schindeler, etc.

tirer que par plusieurs fontes, et sans être bien instruit des intermèdes convenables que les docimasistes emploient. La chimie qui s'est perfectionnée de nos jours, donne à la vérité les moyens de retirer cet or et cet argent en plus grande partie; mais dans le tems où les Espagnols exploitoient les mines du Pérou, ils ignoroient sans doute l'art de traiter les mines avec le plus grand profit; et d'ailleurs ils avoient de si grandes richesses à leur disposition, qu'ils négligeoient vraisemblablement les moyens qui leur auroient coûté de la peine, des soins et du tems; ainsi il y a apparence qu'ils se contentoient d'une première fonte, et jetoient les scories comme inutiles, ainsi que le sable qui avoit passé par le mercure, peut-être même ne faisoient-ils qu'un tas de ces deux mélanges, qu'ils regardoient comme de nulle valeur.

» Ces scories contenoient encore de l'or, beaucoup de fer sous différens états, et cela en des proportions différentes, qui nous sont inconnues, mais qui sont telles, peut-être, qu'elles peuvent avoir donné l'existence à la platine. Les globules de mercure que j'ai observés, et les paillettes d'or que j'ai vues distinctement, à l'aide d'une bonne loupe,

dans la platine que j'ai eue entre les mains, m'ont fait naître les idées que je viens d'écrire sur l'origine de ce minéral ; mais je ne les donne que comme des conjectures hasardées ; il faudroit, pour en acquérir quelque certitude, savoir au juste où sont situées les mines de la platine ; si elles ont été exploitées anciennement, si on la tire d'un terrain neuf, ou si ce ne sont que des décombres, à quelle profondeur on la trouve, et enfin si la main des hommes y est exprimée ou non. Tout cela pourroit aider à vérifier ou à détruire les conjectures que j'ai avancées (1) ».

REMARQUES.

Ces observations de M. le comte de Milly, confirment les miennes dans presque tous les points. La nature est une, et se présente toujours la même à ceux qui la savent observer ; ainsi l'on ne doit pas être surpris que

---

(1) M. le baron de Sickingen, ministre de l'électeur Palatin, a dit à M. de Milly, avoir actuellement entre les mains deux mémoires qui lui ont été remis par M. Kellner, chimiste et métallurgiste, attaché à M. le prince de Birckenfeld, à Manheim, qui offre à la cour d'Espagne de rendre à peu près autant d'or pesant qu'on lui livrera de platine.

sans aucune communication, M. de Milly ait vu les mêmes choses que moi, et qu'il en ait tiré la même conséquence, que la platine n'est point un nouveau métal, différent de tous les autres métaux, mais un mélange de fer et d'or (1) Pour concilier encore de plus près ses observations avec les miennes, et pour éclaircir en même tems les doutes qui restent en grand nombre sur l'origine et sur la formation de la platine, j'ai cru devoir ajouter les remarques suivantes :

1°. M. le comte de Milly distingue dans la platine trois espèces de matières ; savoir, deux métalliques, et la troisième non métallique, de substance et de forme quartzeuse

---

(1) « Le fer et l'or fondus ensemble en quelque proportion que ce soit, produisent un métal qui n'a aucun rapport avec la platine, ni par sa pesanteur spécifique, ni par ses autres propriétés. D'ailleurs on réduit à si peu de chose le fer contenu dans la platine naturelle, qu'il y devient à peine sensible.... La platine, dans son plus grand dégré de pureté, a une couleur blanche semblable à celle de l'argent ; elle ne peut plus se fondre sans miroir ardent. Sa pesanteur spécifique est environ dix-huit fois plus forte que celle de l'eau ; elle est dure à peu près comme le fer, ne donne point de pourpre minérale avec l'étain : propriétés qui, ainsi que plusieurs autres,

ou cristalline ; il a observé, comme moi, que des deux matières métalliques, l'une est très-attirable par l'aimant, et que l'autre l'est très-peu ou point du tout. J'ai fait mention de ces deux matières comme lui, mais je n'ai pas parlé de la troisième qui n'est pas métallique, parce qu'il n'y en avoit point ou très-peu dans la platine sur laquelle j'ai fait mes observations. Il y a apparence que la platine dont s'est servi M. de Milly, étoit moins pure que la mienne, que j'ai observée avec soin, et dans laquelle je n'ai vu que quelques petits globules transparens comme du verre blanc fondu, qui étoient unis à des particules de platine ou de sablon ferru-

---

font voir clairement qu'elle ne contient pas sensiblement de l'or, et à plus forte raison qu'elle n'en est pas entièrement composée ; ce qui cependant devroit être, suivant l'hypothèse, puisque s'il n'est pas possible d'en séparer tout le fer, ou de le réduire au moins au-dessous de $\frac{1}{4000}$ de la masse totale. En effet, le vitriol vert contient environ 24 livres de fer par quintal ; et une millième partie de ce vitriol, mêlée à la dissolution de la platine, donne du bleu de Prusse, tandis que le régule bleu n'en donne pas la plus petite apparence, etc. » *Mémoires sur la platine, par Bergman. (Journal de Physique, janvier* 1780.) SONNINI.

gineux, et qui se laissoient enlever ensemble par l'aimant. Ces globules transparens étoient en très-petit nombre, et dans huit onces de platine que j'ai bien regardée et fait regarder à d'autres, avec une loupe très-forte, on n'a point apperçu de cristaux réguliers. Il m'a paru au contraire que toutes les particules transparentes étoient globuleuses comme du verre fondu, et toutes attachées à des parties métalliques, comme le laitier s'attache au fer lorsqu'on le fond. Néanmoins comme je ne doutois point du tout de la vérité de l'observation de M. de Milly, qui avoit vu dans sa platine des particules quartzeuses et cristallines, de forme régulière et en grand nombre; j'ai cru ne devoir pas me borner à l'examen de la seule platine dont j'ai parlé ci-devant : j'en ai trouvé au cabinet du roi, que j'ai examinée avec M. Daubenton, de l'académie des sciences, et qui nous a paru à tous deux bien moins pure que la première, et nous y avons en effet remarqué un grand nombre de petits cristaux prismatiques et transparens, les uns couleur de rubis-balai, d'autres couleur de topaze, et d'autres enfin parfaitement blancs; ainsi M. le comte de Milly ne s'étoit point trompé dans son observation; mais

ceci prouve seulement qu'il y a des mines de platine bien plus pures les unes que les autres, et que dans celles qui le sont le plus, il ne se trouve point de ces corps étrangers. M. Daubenton a aussi remarqué quelques grains aplatis par dessous, et renflés par dessus, comme seroit une goute de métal fondu qui se seroit refroidie sur un plan. J'ai vu très-distinctement un de ces grains hémisphériques, et cela pourroit indiquer que la platine est une matière qui a été fondue par le feu; mais il est bien singulier que dans cette matière fondue par le feu, on trouve des petits cristaux, des topazes et des rubis, et je ne sais si l'on ne doit pas soupçonner de la fraude de la part de ceux qui ont fourni cette platine, et qui, pour en augmenter la quantité, auront pu la mêler avec ces sables cristallins, car je le répète, je n'ai point trouvé de ces cristaux dans plus d'une demi-livre de platine que m'a donnée M. le comte d'Angivillers.

2°. J'ai trouvé, comme M. de Milly, des paillettes d'or dans la platine; elles sont aisées à reconnoître par leur couleur, et parce qu'elles ne sont point du tout magnétiques; mais j'avoue que je n'ai pas apperçu les globules de mercure qu'à vus M. de Milly. Je ne

veux pas pour cela nier leur existence; seulement il me semble que les paillettes d'or se trouvant avec ces globules de mercure dans la même matière elles seroient bientôt amalgamées, et ne conserveroient pas la couleur jaune de l'or, que j'ai remarquée dans toutes les paillettes d'or que j'ai pu trouver dans une demi-livre de platine (1). D'ailleurs les globules transparens dont je viens de parler, ressemblent beaucoup à des globules de mercure vif et brillant, en sorte qu'au premier coup-d'œil il est aisé de s'y tromper.

5°. Il y avoit beaucoup moins de parties ternes et rouillées dans ma première platine que dans celle de M. de Milly, et ce n'est pas proprement de la rouille qui couvre la surface de ces particules ferrugineuses, mais une substance noire, produite par le feu, et tout-à-fait semblable à celle qui couvre la surface du fer brûlé; mais ma seconde platine, c'est-à-dire, celle que j'ai prise au cabinet du roi, avoit encore de commun avec celle de M. le comte de Milly, d'être mé-

(1) J'ai trouvé depuis, dans d'autre platine, des paillettes d'or qui n'étoient pas jaunes, mais brunes et même noires comme le sablon ferrugineux de la platine, qui probablement leur avoit donné cette couleur noirâtre.

langée de quelques parties ferrugineuses ; qui, sous le marteau, se réduisoient en poussière jaune et avoient tous les caractères de la rouille. Ainsi cette platine du cabinet du roi, et celle de M. de Milly, se ressemblant à tous égards, il est vraisemblable qu'elles sont venues du même endroit et par la même voie ; je soupçonne même que toutes deux ont été sophistiquées et mélangées de près de moitié, avec des matières étrangères, cristallines et ferrugineuses rouillées, qui ne se trouvent pas dans la platine naturelle.

4°. La production du bleu de Prusse, par la platine, me paroît prouver évidemment la présence du fer dans la partie même de ce minéral qui est la moins attirable à l'aimant, et confirmer en même tems ce que j'ai avancé du mélange intime du fer dans sa substance. Le décapement de la platine par l'esprit de nitre, prouve que quoiqu'il n'y ait point d'effervescence sensible, cet acide ne laisse pas d'agir sur la platine d'une manière évidente, et que les auteurs qui ont assuré le contraire, ont suivi leur routine ordinaire, qui consiste à regarder comme nulle toute action qui ne produit pas l'effervescence. Ces deux expériences de M. de Milly me paroissent très-importantes ; elles

seroient même décisives si elles réussissoient toujours également.

5°. Il nous manque en effet beaucoup de connoissances qui seroient nécessaires, pour pouvoir prononcer affirmativement sur l'origine de la platine. Nous ne savons rien de l'histoire naturelle de ce minéral, et nous ne pouvons trop exhorter ceux qui sont à portée de l'examiner sur les lieux, de nous faire part de leurs observations. En attendant, nous sommes forcés de nous borner à des conjectures, dont quelques-unes me paroissent seulement plus vraisemblables que les autres. Par exemple, je ne crois pas que la platine soit l'ouvrage des hommes ; les Mexicains et les Péruviens savoient fondre et travailler l'or avant l'arrivée des Espagnols, et ils ne connoissoient pas le fer, qu'il auroit néanmoins fallu employer dans le départ à sec en grande quantité. Les Espagnols eux-mêmes n'ont point établi de fourneaux à fondre les mines de fer en cette contrée, dans les premiers temps qu'ils l'ont habitée ; il y a donc toute apparence qu'ils ne se sont pas servis de limaille de fer pour le départ de l'or, du moins dans les commencemens de leurs travaux, qui d'ailleurs ne remontent pas à deux siècles et demi, tems

beaucoup trop court pour une production aussi abondante que celle de la platine, qu'on ne laisse pas de trouver en assez grande quantité et dans plusieurs endroits.

D'ailleurs lorsqu'on mêle de l'or avec du fer, en les faisant fondre ensemble, on peut toujours, par les voies chimiques, les séparer et retirer l'or en entier; au lieu que jusqu'à présent les chimistes n'ont pu faire cette séparation dans la platine, ni déterminer la quantité d'or contenue dans ce minéral : cela semble prouver que l'or y est uni d'une manière plus intime que dans l'alliage ordinaire, et que le fer y est aussi, comme je l'ai dit, dans un état différent de celui du fer commun (1) La platine ne me paroît donc pas être l'ouvrage de l'homme, mais le produit de la Nature, et je suis très-porté à croire qu'elle doit sa première origine au feu des volcans. Le fer brûlé, autant qu'il est possible, intimément

---

(1) Cela prouve seulement ce qui paroît démontré par les nouvelles découvertes des chimistes ; savoir que la platine n'est point un composé d'or et de fer, et qu'on doit la considérer comme un métal propre, distinct des autres métaux, et auquel le fer n'est point essentiellement adhérent.

SONNINI.

uni avec l'or par la sublimation ou par la fusion, peut avoir produit ce minéral, qui, d'abord ayant été formé par l'action du feu le plus violent aura ensuite éprouvé les impressions de l'eau et les frottemens réitérés qui lui ont donné la forme qu'ils donnent à tous les autres corps, c'est-à-dire, celle des galets et des angles émoussés. Mais il se pourroit aussi que l'eau seule eût produit la platine; car en supposant l'or et le fer tous deux divisés autant qu'ils peuvent l'être par la voie humide, leurs molécules, en se réunissant, auront pu former les grains qui la composent, et qui depuis les plus pesans jusqu'aux plus légers contiennent tous de l'or et du fer. La proposition du chimiste qui offre de rendre à peu près autant d'or qu'on lui fournira de platine, sembleroit indiquer qu'il n'y a en effet qu'un onzième de fer sur dix onzièmes d'or dans ce minéral, ou peut-être encore moins; mais l'à peu près de ce chimiste est probablement d'un cinquième ou d'un quart, et ce seroit toujours beaucoup si sa promesse pouvoit se réaliser à un quart près.

Seconde Addition.

M'étant trouvé à Dijon, cet été 1773,

que la dissolution d'or étoit aussi précipitée en bleu par l'alkali prussien, et avoit consigné ce fait dans une table d'affinité ; je fus tenté de répéter cette expérience, j'ai versé en conséquence de la liqueur alkaline phlogistiquée dans de la dissolution d'or de départ, mais la couleur de cette dissolution ne changea pas, ce qui me fait soupçonner que la dissolution d'or, employée par M. de Fourcy, pouvoit bien n'être pas aussi pure.

» Et dans le même tems, M. le comte de Buffon m'ayant donné une assez grande quantité d'autre platine, pour en faire quelques essais, j'ai entrepris de la séparer de tous les corps étrangers par une bonne fonte ; voici la manière dont j'ai procédé, et les résultats que j'ai eus.

Première expérience.

» Ayant mis un gros de platine dans une petite coupelle, sous la mouffle du fourneau, donné par M. Macquer dans les mémoires de l'académie des sciences, *année* 1758 ; j'ai soutenu le feu pendant deux heures, la mouffle s'est affaissée, les supports avoient coulé ; cependant la platine s'est trouvée seulement agglutinée, elle tenoit à la coupelle

et

et y avoit laissé des taches couleur de rouille; la platine étoit alors terne, même un peu noire, et n'avoit pris qu'un quart de grain d'augmentation de poids, quantité bien foible, en comparaison de celle que d'autres chimistes ont observée; ce qui me surprit d'autant plus, que ce gros de platine, ainsi que toute celle que j'ai employée aux autres expériences, avoit été enlevé successivement par l'aimant, et faisoit portion des six septièmes de huit onces dont M. de Buffon a parlé dans le mémoire ci-dessus.

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

» Un demi-gros de la même platine, exposé au même feu dans une coupelle, s'est aussi agglutiné; elle étoit adhérente à la coupelle, sur laquelle elle avoit laissé des taches de couleur de rouille; l'augmentation de poids s'est trouvée à peu près dans la même proportion, et la surface aussi noire.

TROISIÈME EXPÉRIENCE.

» J'ai remis ce même demi-gros dans une nouvelle coupelle, mais au lieu de mouffle, j'ai renversé sur le support un creuset de plomb noir de Passaw; j'avois

eu l'attention de n'employer pour support que des têts d'argile pure très-réfractaire ; par ce moyen je pouvois augmenter la violence du feu et prolonger sa durée, sans craindre de voir couler les vaisseaux, ni obstruer l'argile par les scories ; cet appareil ainsi placé dans le fourneau, j'y ai entretenu pendant quatre heures un feu de la dernière violence ; lorsque tout a été refroidi, j'ai trouvé le creuset bien conservé, soudé au support ; ayant brisé cette soudure vitreuse, j'ai reconnu que rien n'avoit pénétré dans l'intérieur du creuset qui paroissoit seulement plus luisant qu'il n'étoit auparavant. La coupelle avoit conservé sa forme et sa position, elle étoit un peu fendillée, mais pas assez pour se laisser pénétrer, aussi le bouton de platine n'y étoit-il pas adhérent; ce bouton n'étoit encore qu'agglutiné, mais d'une manière bien plus serrée que la première fois, les grains étoient moins saillans, la couleur en étoit plus claire, le brillant plus métallique ; et ce qu'il y eut de plus remarquable, c'est qu'il s'étoit élancé de sa surface, pendant l'opération, et probablement dans les premiers instans du refroidissement, trois jets de verre, dont l'un plus élevé, parfaitement sphérique, étoit

porté sur un pédicule d'une ligne de hauteur, de la même matière transparente et vitreuse; ce pédicule avoit à peine un sixième de ligne, tandis que le globule avoit une ligne de diamètre, d'une couleur uniforme, avec une légère teinte de rouge, qui ne déroboit rien à sa transparence; des deux autres jets de verre, le plus petit avoit un pédicule comme le plus gros, et le moyen n'avoit point de pédicule, et étoit seulement attaché à la platine par sa surface extérieure.

QUATRIÈME EXPÉRIENCE.

» J'ai essayé de coupeler la platine, et pour cela j'ai mis dans une coupelle un gros des mêmes grains enlevés par l'aimant, avec deux gros de plomb. Après avoir donné un très-grand feu pendant deux heures, j'ai trouvé dans la coupelle un bouton adhérent, couvert d'une croûte jaunâtre et un peu spongieuse, du poids de 2 gros 12 grains, ce qui annonçoit que la platine avoit retenu un gros 12 grains de plomb.

» J'ai remis ce bouton dans une autre coupelle au même fourneau, observant de le retourner, il n'a perdu que 12 grains dans un feu de deux heures, sa couleur et sa forme avoient très-peu changé.

» Je lui ai appliqué ensuite le vent du soufflet après l'avoir placé dans une nouvelle coupelle couverte d'un creuset de Passaw, dans la partie inférieure d'un fourneau de fusion dont j'avois ôté la grille; le bouton a pris alors un coup d'œil plus métallique, toujours un peu terne, et cette fois il a perdu 18 grains.

» Le même bouton ayant été remis dans le fourneau de M. Macquer, toujours placé dans une coupelle couverte d'un creuset de Passaw, je soutins le feu pendant trois heures, après lesquelles je fus obligé de l'arrêter, parce que les briques qui servoient de support, avoient entièrement coulé; le bouton étoit devenu de plus en plus métallique, il adhéroit pourtant à la coupelle, il avoit perdu cette fois 34 grains. Je le jetai dans l'acide nitreux fumant pour essayer de le décaper, il y eut un peu d'effervescence lorsque j'ajoutai de l'eau distillée, le bouton y perdit effectivement deux grains, et j'y remarquai quelques petits trous, comme ceux que laisse le départ.

» Il ne restoit plus que 22 grains de plomb alliés à la platine, à en juger par l'excédant de son poids; je commençai à espérer de vitrifier cette dernière portion

de plomb, et pour cela je mis ce bouton dans une coupelle neuve, je disposai le tout comme dans la troisième expérience, je me servis du même fourneau, en observant de dégager continuellement la grille, d'entretenir au-devant dans le courant d'air qu'il attiroit, une évaporation continuelle par le moyen d'une capsule que je remplissois d'eau de tems en tems, et de laisser un moment la chape entr'ouverte lorsqu'on venoit de remplir le fourneau de charbon; ces précautions augmentèrent tellement l'activité du feu, qu'il falloit recharger de dix minutes en dix minutes, je le soutins au même dégré pendant quatre heures, et je laissai refroidir.

» Je reconnus le lendemain que le creuset de plomb noir avoit résisté, que les supports n'étoient que fayencés par les cendres; je trouvai dans la coupelle un bouton bien rassemblé, nullement adhérent, d'une couleur continue et uniforme, approchant plus de la couleur de l'étain que de tout autre métal, seulement un peu raboteux; en un mot, pesant un gros très-juste, rien de plus, rien de moins.

» Tout annonçoit donc que cette platine avoit éprouvé une fusion parfaite, qu'elle

étoit parfaitement pure, car pour supposer qu'elle tenoit encore du plomb, il faudroit supposer aussi que ce minéral avoit justement perdu de sa propre substance autant qu'il avoit retenu de matière étrangère ; et une telle précision ne peut être l'effet d'un pur hasard.

» Je devais passer quelques jours avec M. le comte de Buffon, dont la société a, si je puis le dire, le même charme que son style, dont la conversation est aussi pleine que ses livres, je me fis un plaisir de lui porter les produits de ces essais, et je remis à les examiner ultérieurement avec lui.

» 1°. Nous avons observé que le gros de platine agglutinée de la première expérience, n'étoit pas attiré en bloc par l'aimant, que cependant le barreau magnétique avoit une action marquée sur les grains que l'on en détachoit.

» 2°. Le demi-gros de la troisième expérience n'étoit non seulement pas attirable en masse, mais les grains que l'on en séparoit ne donnoient plus eux-mêmes aucun signe de magnétisme.

» 3°. Le bouton de la quatrième expérience étoit aussi absolument insensible à l'approche de l'aimant, ce dont nous nous assurâmes,

en mettant le bouton en équilibre dans une balance très-sensible, et lui présentant un très-fort aimant jusqu'au contact, sans que son approche ait le moindrement dérangé l'équilibre.

» 4°. La pesanteur spécifique de ce bouton fut déterminée par une bonne balance hydrostatique, et pour plus de sûreté, comparée à l'or de monnoie et au globe d'or très-pur, employé par M. de Buffon à ses belles expériences sur le progrès de la chaleur; leur densité se trouva avoir les rapports suivans, avec l'eau dans laquelle ils furent plongés.

Le globe d'or............ $19\frac{54}{1}$.
L'or de monnoie.......... $17\frac{1}{2}$.
Le bouton de platine..... $14\frac{2}{5}$.

» 5°. Ce bouton fut porté sur un tas d'acier pour essayer sa ductilité, il soutint fort bien quelques coups de marteau, sa surface devint plane, et même un peu polie dans les endroits frappés, mais il se fendit bientôt après, et il s'en détacha une portion, faisant à peu près le 6me. de la totalité; la fracture présenta plusieurs cavités, dont quelques-unes d'environ une ligne de diamètre avoient la blancheur et le brillant

de l'argent ; on remarquoit dans d'autres de petites pointes élancées, comme les cristallisations dans les géodes ; le sommet de l'une de ces pointes vu à la loupe, étoit un globule absolument semblable, pour la forme, à celui de la troisième expérience, et aussi de matière vitreuse transparente, autant que son extrême petitesse permettoit d'en juger. Au reste, toutes les parties du bouton étoient compactes, bien liées, et le grain plus fin, plus serré que celui du meilleur acier après la plus forte trempe, auquel il ressembloit d'ailleurs par la couleur.

» 6°. Quelques portions de ce bouton, ainsi réduites en parcelles à coups de marteau sur le tas d'acier, nous leur avons présenté l'aimant, et aucune n'a été attirée ; mais les ayant encore pulvérisées dans un mortier d'agate, nous avons remarqué que le barreau magnétique en enlevoit quelques-unes des plus petites, toutes les fois qu'on le posoit immédiatement dessus.

» Cette nouvelle apparition du magnétisme étoit d'autant plus surprenante, que les grains détachés de la masse agglutinée de la deuxième expérience, nous avoient paru avoir perdu eux-mêmes toute sensibilité à l'approche et au contact de l'aimant ; nous

reprîmes en conséquence quelques-uns de ces grains, ils furent de même réduits en poussière dans le mortier d'agate, et nous vîmes bientôt les parties les plus petites, s'attacher sensiblement au barreau aimanté: il n'est pas possible d'attribuer cet effet au poli de la surface du barreau ni à aucune autre cause étrangère au magnétisme; un morceau de fer aussi poli, appliqué de la même manière sur les parties de cette platine, n'en a jamais pu enlever une seule.

» Par le récit exact de ces expériences et des observations auxquelles elles ont donné lieu, on peut juger de la difficulté de déterminer la nature de la platine; il est bien certain que celle-ci contenoit quelques parties vitrifiables, et vitrifiables même sans addition à un grand feu; il est bien sûr que toute platine contient du fer et des parties attirables; mais si l'alkali prussien ne donnoit jamais du bleu qu'avec les grains que l'aimant a enlevés, il semble qu'on en pourroit conclure que ceux qui lui résistent absolument sont de la platine pure, qui n'a par elle-même aucune vertu magnétique, et que le fer n'en fait pas partie essentielle. On devoit espérer qu'une fusion aussi avancée, une coupellation aussi parfaite décideroient

au moins cette question : tout annonçoit qu'en effet ces opérations l'avoient dépouillée de toute vertu magnétique en la séparant de tous corps étrangers, mais la dernière observation prouve, d'une manière invincible, que cette propriété magnétique n'y étoit réellement qu'affoiblie, et peut-être masquée ou ensévelie, puisqu'elle a reparu lorsqu'on l'a broyée. »

REMARQUES.

De ces expériences de M. de Morveau, et des observations que nous avons ensuite faites ensemble, il résulte :

1°. Qu'on peut espérer de fondre la platine sans addition dans nos meilleurs fourneaux, en lui appliquant le feu plusieurs fois de suite, parce que les meilleurs creusets ne pourroient résister à l'action d'un feu aussi violent, pendant tout le tems qu'exigeroit l'opération complette.

2°. Qu'en la fondant avec le plomb, et la coupellant successivement et à plusieurs reprises, on vient à bout de vitrifier tout le plomb, et que cette opération pourroit à la fin la purger d'une partie des matières étrangères qu'elle contient.

3°. Qu'en la fondant sans addition, elle paroît se purger elle-même en partie des matières vitrescibles qu'elle renferme, puisqu'il s'élance à sa surface des petits jets de verre qui forment des masses assez considérables, et qu'on en peut séparer aisément après le refroidissement.

4°. Qu'en faisant l'expérience du bleu de Prusse avec les grains de platine qui paroissent les plus insensibles à l'aimant, on n'est pas toujours sûr d'obtenir de ce bleu, comme cela ne manque jamais d'arriver avec les grains qui ont plus ou moins de sensibilité au magnétisme; mais comme M. de Morveau a fait cette expérience sur une très-petite quantité de platine, il se propose de la répéter.

5°. Il paroît que ni la fusion ni la coupellation ne peuvent détruire dans la platine tout le fer dont elle est intimement pénétrée; les boutons fondus ou coupellés, paroissoient à la vérité également insensibles à l'action de l'aimant, mais les ayant brisés dans un mortier d'agate et sur un tas d'acier, nous y avons retrouvé des parties magnétiques, d'autant plus abondantes que la platine étoit réduite en poudre plus fine: le premier bouton, dont les grains ne s'étoient

qu'agglutinés, rendit, étant broyé, beaucoup plus de parties magnétiques que le second et le troisième, dont les grains avoient subi une plus forte fusion, mais néanmoins tous deux étant broyés, fournirent des parties magnétiques, en sorte qu'on ne peut pas douter qu'il n'y ait encore du fer dans la platine, après qu'elle a subi les plus violens efforts du feu et l'action dévorante du plomb dans la coupelle; ceci semble achever de démontrer que ce minéral est réellement un mélange intime d'or et de fer, que jusqu'à présent l'art n'a pu séparer.

6°. Je fis encore, avec M. de Morveau, une autre observation sur cette platine fondue et ensuite broyée, c'est qu'elle reprend, en se brisant, précisément la même forme des galets arrondis et aplatis qu'elle avoit avant d'être fondue; tous les grains de cette platine fondue et brisée, sont semblables à ceux de la platine naturelle, tant pour la forme que pour la variété de grandeur, et ils ne paroissent en différer que parce qu'il n'y a que les plus petits qui se laissent enlever à l'aimant, et en quantité d'autant moindre, que la platine a subi plus de feu. Cela paroît prouver aussi que, quoique le feu ait été assez fort, non seulement pour

brûler et vitrifier, mais même pour chasser au dehors une partie du fer avec les autres matières vitrescibles qu'elle contient, la fusion néanmoins n'est pas aussi complette que celle des autres métaux parfaits, puisqu'en la brisant les grains reprennent la même figure qu'ils avoient avant la fonte.

QUATRIÈME MÉMOIRE.

Expériences sur la ténacité et sur la décomposition du fer.

On a vu dans le premier mémoire, que le fer perd de sa pesanteur à chaque fois qu'on le chauffe à un feu violent, et que des boulets chauffés trois fois jusqu'au blanc, ont perdu la douzième partie de leur poids; on seroit d'abord porté à croire, que cette perte ne doit être attribuée qu'à la diminution du volume du boulet, par les scories qui se détachent de la surface et tombent en petites écailles; mais si l'on fait attention que les petits boulets, dont par conséquent la surface est plus grande, relativement au volume, que celle des gros, perdent moins, et que les gros boulets perdent proportionnellement plus que les petits, on sentira bien que la perte totale de poids, ne doit pas être simplement attribuée à la chute des écailles qui se détachent de la surface, mais encore à une altération intérieure de toutes les parties de la masse que le feu violent diminue, et

rend d'autant plus légère qu'il est appliqué plus souvent et plus long-temps (1).

Et en effet, si l'on recueille à chaque fois les écailles qui se détachent de la surface des boulets, on trouvera que sur un boulet de 5 pouces qui, par exemple, aura perdu huit onces par une première chaude, il n'y aura pas une once de ces écailles détachées, et que tout le reste de la perte de poids ne peut être attribué qu'à cette altération intérieure de la substance du fer qui perd de sa densité à chaque fois qu'on le chauffe; en sorte que si l'on réitéroit souvent cette même opération, on réduiroit le fer à n'être plus qu'une matière friable et légère, dont on ne pourroit faire aucun usage; car j'ai remarqué que les boulets non-seulement avoïent perdu de leur poids, c'est-à-dire,

(1) Une expérience familière et qui semble prouver que le fer perd de sa masse à mesure qu'on le chauffe, même à un feu très-médiocre, c'est que les fers à friser, lorsqu'on les a souvent trempés dans l'eau pour les refroidir, ne conservent pas le même dégré de chaleur au bout d'un tems. Il s'en élève aussi des écailles lorsqu'on les a souvent chauffés et trempés : ces écailles sont du véritable fer.

de leur densité, mais qu'en même tems ils avoient aussi beaucoup perdu de leur solidité ; c'est-à-dire, de cette qualité dont dépend la cohérence des parties ; car j'ai vu, en les faisant frapper, qu'on pouvoit les casser d'autant plus aisément, qu'ils avoient été chauffés plus souvent et plus long-tems.

C'est sans doute parce que l'on ignoroit jusqu'à quel point va cette altération du fer, ou plutôt parce qu'on ne s'en doutoit point du tout, que l'on imagina, il y a quelques années, dans notre artillerie, de chauffer les boulets dont il étoit question de diminuer le volume (1) On m'a assuré que le calibre des canons nouvellement fondus, étant plus étroit que celui des anciens canons, il a fallu diminuer les boulets, et que pour y parvenir, on a fait rougir ces boulets à blanc, afin de les ratisser ensuite plus aisément en les faisant tourner : on m'a ajouté, que souvent on est obligé de les faire chauffer cinq, six et même huit et neuf fois pour les réduire autant qu'il est nécessaire. Or, il est évident, par mes expériences, que cette pratique est mauvaise, car un boulet chauffé

(1) M. le marquis de Vallière ne s'occupoit point alors des travaux de l'artillerie.

à

à blanc neuf fois, doit perdre au moins le quart de son poids, et peut-être les trois quarts de sa solidité. Devenu cassant et friable, il ne peut servir pour faire brêche, puisqu'il se brise contre les murs, et devenu léger, il a aussi pour les pièces de campagne le grand désavantage de ne pouvoir aller aussi loin que les autres.

En général, si l'on veut conserver au fer sa solidité et son nerf, c'est-à-dire, sa masse et sa force, il ne faut l'exposer au feu ni plus souvent ni plus long-tems qu'il est nécessaire ; il suffira, pour la plupart des usages, de le faire rougir sans pousser le feu jusqu'au blanc, ce dernier degré de chaleur ne manque jamais de le détériorer : et dans les ouvrages où il importe de lui conserver tout son nerf, comme dans les bandes que l'on forge pour les canons de fusil, il faudroit, s'il étoit possible, ne les chauffer qu'une fois pour les battre, plier et souder, par une seule opération ; car, quand le fer a acquis sous le marteau, toute la force dont il est susceptible, le feu ne fait plus que la diminuer ; c'est aux artistes à voir jusqu'à quel point ce métal doit être malléé pour acquérir tout son nerf, et cela ne seroit pas impossible à déterminer par

des expériences ; j'en ai fait quelques-unes que je vais rapporter ici.

I

Une boucle de fer de 18 lignes $\frac{2}{5}$ de grosseur, c'est-à-dire, 348 lignes carrées pour chaque montant de fer, ce qui fait pour le tout 696 lignes carrées de fer, a cassé sous le poids de 28 milliers qui tiroit perpendiculairement : cette boucle de fer avoit environ 10 pouces de largeur, sur 13 pouces de hauteur, et elle étoit à très-peu près de la même grosseur par-tout. Cette boucle a cassé presque au milieu des branches perpendiculaires, et non pas dans les angles.

Si l'on vouloit conclure du grand au petit sur la force du fer par cette expérience, il se trouveroit que chaque ligne carrée de fer, tirée perpendiculairement, ne pourroit porter qu'environ 40 livres.

I I.

Cependant ayant mis à l'épreuve un fil de fer d'une ligne un peu forte de diamètre, ce morceau de fil de fer a porté, avant de se rompre, 482 livres. Et un pareil morceau de fil de fer n'a rompu que sous la charge de 495 livres ; en sorte qu'il est à présumer

qu'une verge carrée d'une ligne de ce même fer auroit porté encore davantage, puisqu'elle auroit contenu quatre segmens aux quatre coins du carré inscrit au cercle, de plus que le fil de fer rond, d'une ligne de diamètre.

Or cette disproportion dans la force du fer en gros et du fer en petit, est énorme. Le gros fer que j'avois employé, venoit de la forge d'Aisy sous Rougemont; il étoit sans nerf et à gros grain, et j'ignore de quelle forge étoit mon fil de fer, mais la différence de la qualité du fer, quelque grande qu'on voulût la supposer, ne peut pas faire celle qui se trouve ici dans leur résistance, qui, comme l'on voit, est douze fois moindre dans le gros fer que dans le petit.

III.

J'ai fait rompre une autre boucle de fer de 18 lignes $\frac{1}{2}$ de grosseur, du même fer de la forge d'Aisy; elle ne supporta de même que 28,450 livres, et rompit encore presque dans le milieu des deux montans.

IV.

J'avois fait faire en même tems une boucle du même fer, que j'avois fait reforger

pour le partager en deux, en sorte qu'il se trouva réduit à une barre de 9 lignes sur 18 ; l'ayant mise à l'épreuve, elle supporta avant de rompre, la charge de 17,300 livres, tandis qu'elle n'auroit dû porter tout au plus que 14 milliers, si elle n'eût pas été forgée une seconde fois.

V.

Une autre boucle de fer de 16 lignes $\frac{5}{4}$ de grosseur, ce qui fait pour chaque montant à peu près 280 lignes carrées, c'est-à-dire, 560, a porté 24,600 livres, au lieu qu'elle n'auroit dû porter que 22,400 livres, si je ne l'eusse pas fait forger une seconde fois.

V I.

Un cadre de fer de la même qualité, c'est-à-dire, sans nerf et à gros grains, et venant de la même forge d'Aisy, que j'avois fait établir pour empêcher l'écartement des murs du haut fourneau de mes forges, et qui avoit 26 pieds d'un côté sur 22 pieds de l'autre, ayant cassé par l'effort de la chaleur du fourneau dans les deux points milieux des deux plus longs côtés, j'ai vu que je pouvois comparer ce cadre aux boucles des expériences précédentes, parce qu'il étoit du

même fer, et qu'il a cassé de la même manière : or ce fer avoit 21 lignes de gros, ce qui fait 441 lignes carrées, et ayant rompu comme les boucles aux deux côtés opposés, cela fait 882 lignes carrées qui se sont séparées par l'effort de la chaleur. Et comme nous avons trouvé par les expériences précédentes, que 696 lignes carrées du même fer ont cassé sous le poids de 28 milliers, on doit en conclure que 882 lignes de ce même fer, n'auroient rompu que sous un poids de 35,480 livres, et que par conséquent l'effort de la chaleur devoit être estimé comme un poids de 35,480 livres. Ayant fait fabriquer pour contenir le mur intérieur de mon fourneau, dans le fondage qui se fit après la rupture de ce cadre, un cercle de 26 pieds $\frac{1}{2}$ de circonférence, avec du fer nerveux provenant de la fonte et de la fabrique de mes forges, cela m'a donné le moyen de comparer la ténacité du bon fer avec celle du fer commun. Ce cercle de 26 pieds $\frac{1}{2}$ de circonférence étoit de deux pièces, retenues et jointes ensemble par deux clavettes de fer passées dans des anneaux forgés au bout des deux bandes de fer; la largeur de ces bandes étoit de 30 lignes sur 5 d'épaisseur; cela fait 150 lignes carrées qu'on ne doit pas dou-

bler, parce que si ce cercle eût rompu, ce n'auroit été qu'en un seul endroit, et non pas en deux endroits opposés comme les boucles ou le grand cadre carré. Mais l'expérience me démontra que pendant un fondage de quatre mois, où la chaleur étoit même plus grande que dans le fondage précédent, ces 150 lignes de bon fer résistèrent à son effort qui étoit de 35,480 livres ; d'où l'on doit conclure, avec certitude entière, que le bon fer, c'est-à-dire, le fer qui est presque tout nerf, est au moins cinq fois aussi tenace que le fer sans nerf et à gros grains.

Que l'on juge par là de l'avantage qu'on trouveroit à n'employer que du bon fer nerveux dans les bâtimens et dans la construction des vaisseaux, il en faudroit les trois quarts moins, et l'on auroit encore un quart de solidité de plus.

Par de semblables expériences, et en faisant malléer une fois, deux fois, trois fois des verges de fer de différentes grosseurs, on pourroit s'assurer du *maximum* de la force du fer, combiner d'une manière certaine la légèreté des armes avec leur solidité, ménager la matière dans les autres ouvrages sans craindre la rupture, en un mot, travailler

ce métal sur des principes uniformes et constans. Ces expériences sont le seul moyen de perfectionner l'art de la manipulation du fer; l'État en tireroit de très-grands avantages, car il ne faut pas croire que la qualité du fer dépende de celle de la mine; que, par exemple, le fer d'Angleterre, ou d'Allemagne, ou de Suède soit meilleur que celui de France; que le fer de Berry soit plus doux que celui de Bourgogne; la nature des mines n'y fait rien, c'est la manière de les traiter qui fait tout, et ce que je puis assurer, pour l'avoir vu par moi-même, c'est qu'en malléant beaucoup et chauffant peu, on donne au fer plus de force, et qu'on approche de ce *maximum* dont je ne puis que recommander la recherche, et auquel on peut arriver par les expériences que je viens d'indiquer.

Dans les boulets que j'ai soumis plusieurs fois à l'épreuve du plus grand feu, j'ai vu que le fer perd de son poids et de sa force d'autant plus qu'on le chauffe plus souvent et plus long-tems; sa substance se décompose, sa qualité s'altère, et enfin il dégénère en une espèce de mâchefer ou de matière poreuse, légère, qui se réduit en une sorte de chaux par la violence et la longue appli-

cation du feu : le mâchefer commun est d'une autre espèce, et quoique vulgairement on croie que le mâchefer ne provient et même ne peut provenir que du fer, j'ai la preuve du contraire. Le mâchefer est à la vérité une matière produite par le feu, mais pour le former il n'est pas nécessaire d'employer du fer ni aucun autre métal ; avec du bois et du charbon brûlé et poussé à un feu violent, on obtiendra du mâchefer en assez grande quantité ; et si l'on prétend que ce mâchefer ne vient que du fer contenu dans le bois (parce que tous les végétaux en contiennent plus ou moins), je demande pourquoi l'on ne peut pas en tirer du fer même une plus grande quantité qu'on en tire du bois, dont la substance est si différente de celle du fer. Dès que ce fait me fut connu par l'expérience, il me fournit l'intelligence d'un autre fait qui m'avoit paru inexplicable jusques alors. On trouve dans les terres élevées, et surtout dans des forêts où il n'y a ni rivières ni ruisseaux, et où par conséquent il n'y a jamais eu de forges, non plus qu'aucun indice de volcan ou de feux souterrains ; on trouve, dis-je, souvent de gros blocs de mâchefer que deux hommes auroient peine à enlever : j'en ai vus pour la première fois en 1745, à Mon-

tigny-l'Encoupe, dans les forêts de M. de Trudaine; j'en ai fait chercher et trouvé depuis dans nos bois de Bourgogne, qui sont encore plus éloignés de l'eau que ceux de Montigny; on en a trouvé en plusieurs endroits : les petits morceaux m'ont paru provenir de quelques fourneaux de charbon qu'on aura laissé brûler, mais les gros ne peuvent venir que d'un incendie dans la forêt lorsqu'elle étoit en pleine venue, et que les arbres y étoient assez grands et assez voisins pour produire un feu très-violent et très-long-tems nourri.

Le mâchefer, qu'on peut regarder comme un résidu de la combustion du bois, contient du fer; et l'on verra dans un autre mémoire les expériences que j'ai faites pour reconnoître par ce résidu la quantité de fer qui entre dans la composition des végétaux. Et cette terre morte ou cette chaux dans laquelle le fer se réduit par la trop longue action du feu, ne m'a pas paru contenir plus de fer que le mâchefer du bois, ce qui semble prouver que le fer est comme le bois une matière combustible, que le feu peut également dévorer en l'appliquant seulement plus violemment et plus long-tems. Pline dit, avec grande raison, *ferrum accensum igni, nisi*

met davantage elle devient plus cassante, sans néanmoins changer de couleur ni de grain. Mais si les mines sont moins épurées, ces crasses gâtent absolument la fonte, parce qu'étant déjà très-aigre et très-cassante par elle-même, elle le devient encore plus par cette addition de mauvaise matière, en sorte que cette pratique, qui peut devenir utile entre les mains d'un habile maître de l'art, produira dans d'autres mains de si mauvais effets, qu'on ne pourra se servir ni des fers ni des fontes qui en proviendront.

Il y a néanmoins des moyens, je ne dis pas de changer, mais de corriger un peu la mauvaise qualité de la fonte, et d'adoucir à la chaufferie l'aigreur du fer qui en provient. Le premier de ces moyens est de diminuer la force du vent, soit en changeant l'inclinaison de la tuyère, soit en ralentissant le mouvement des soufflets, car plus on presse le feu, plus le fer devient aigre. Le second moyen, et qui est encore plus efficace, c'est de jeter sur la loupe de fer qui se sépare de la gueuse, une certaine quantité de gravier calcaire, ou même de chaux toute faite; cette chaux sert de fondant aux parties vitrifiables que le fer aigre contient en trop grande quantité, et le purge de ses impu-

retés. Mais ce sont de petites ressources auxquelles il ne faut pas se mettre dans le cas d'avoir recours, ce qui n'arriveroit jamais, si l'on suivoit les procédés que j'ai donnés pour faire de bonne fonte (1).

Lorsqu'on fait travailler les affineurs à leur compte et qu'on les paye au millier, ils font comme les fondeurs, le plus de fer qu'ils peuvent dans leur semaine ; ils construisent le foyer de leur chaufferie, de la manière la plus avantageuse pour eux ; ils pressent le feu, trouvent que les soufflets ne donnent jamais assez de vent; ils travaillent moins la loupe, et font ordinairement en deux chaudes ce qui en exigeroit au moins trois : on ne sera donc jamais sûr d'avoir du fer d'une bonne et même qualité, qu'en payant les ouvriers au mois, et en faisant casser, à la fin de chaque semaine, quelques barres du fer qu'ils livrent, pour reconnoître s'ils ne se sont pas ou trop pressés ou négligés. Le fer en bandes plates est toujours plus nerveux que le fer en barreaux ; s'il se trouve deux tiers de nerf, sur un tiers de grain dans les bandes, on ne trouvera dans

(1) On trouvera ces procédés dans mes Mémoires sur la fusion des mines de fer.

point qu'on n'imagineroit pas que c'est le même fer, si l'on n'en étoit pas convaincu par ses yeux, en faisant casser l'autre bout du même barreau, qui, n'ayant point été trempé, conserve son nerf et son grain ordinaire. Cette trempe, en été, fait beaucoup moins de mal, mais en fait toujours un peu; et si l'on veut avoir du fer toujours de la même bonne qualité, il faut absolument proscrire cet usage, ne jamais tremper le fer chaud dans l'eau, et attendre, pour le manier, qu'il se refroidisse à l'air.

Il faut que la fonte soit bien bonne pour produire du fer aussi nerveux, aussi tenace que celui qu'on peut tirer des vieilles ferrailles refondues, non pas en les jetant au fourneau de fusion, mais en les mettant au feu de l'affinerie; tous les ans on achette pour mes forges une assez grande quantité de ces vieilles ferrailles, dont, avec un peu de soin, l'on fait d'excellent fer. Mais il y a du choix dans ces ferrailles; celles qui proviennent des rognures de la tôle ou des morceaux cassés du fil de fer, qu'on appelle des *riblons*, sont les meilleures de toutes, parce qu'elles sont d'un fer plus pur que les autres; on les achette aussi quelque chose de plus, mais en général ces vieux

fers,

fers, quoique de qualité médiocre, en produisent de très-bon lorsqu'on sait les traiter. Il ne faut jamais les mêler avec la fonte : si même il s'en trouve quelques morceaux parmi les ferrailles, il faut les séparer ; il faut aussi mettre une certaine quantité de crasses dans le foyer, et le feu doit être moins poussé, moins violent que pour le travail du fer en gueuse, sans quoi l'on brûleroit une grande partie de sa ferraille qui, quand elle est bien traitée et de bonne qualité, ne donne qu'un cinquième de déchet, et consomme moins de charbon que le fer de la gueuse. Les crasses qui sortent de ces vieux fers, sont en bien moindre quantité, et ne conservent pas à beaucoup près autant de particules de fer que les autres. Avec des riblons qu'on renvoie des fileries que fournissent mes forges, et des rognures de tôle cisaillées que je fais fabriquer, j'ai souvent fait du fer qui étoit tout nerf, et dont le déchet n'étoit presque que d'un sixième; tandis que le déchet du fer en gueuse est communément du double, c'est-à dire, d'un tiers, et souvent de plus du tiers, si l'on veut obtenir du fer d'excellente qualité.

M. de Montbeillard, lieutenant-colonel

au régiment royal d'artillerie (1), ayant été chargé pendant plusieurs années de l'inspection des manufactures d'armes à Charleville, Maubeuge et Saint-Étienne, a bien voulu me communiquer un mémoire qu'il a présenté au ministre, et dans lequel il traite de cette fabrication du fer avec de

---

(1) C'est le frère de M. Guenau de Montbeillard, dont la plume brillante a souvent été prise pour celle de Buffon. M. de Montbeillard avoit, comme son frère, le goût et la faveur des sciences. Excellent militaire, il apportoit dans la pratique de l'art de la guerre les connoissances profondes qui ont fait de l'artillerie française la première artillerie du monde. A des talens distingués, il joignoit la loyauté d'un guerrier, et la modestie d'un homme dont les travaux se dirigeoient constamment vers le bien de son pays. Ce genre de vertus échappe rarement aux tracasseries des passions ambitieuses. Quelques personnages puissans avoient introduit dans le corps de l'artillerie l'esprit d'innovation, toujours funeste, si sa marche n'est pas lente et mesurée, et avec lui, l'intrigue et la division. La faveur l'emporta; et M. de Montbeillard, de même que d'autres officiers blanchis comme lui dans la carrière de l'honneur, fut réduit à un état d'inaction et de disgrace, dont je l'ai vu gémir à Sémur sa patrie, non pas pour lui-même, mais par l'impuissance d'être encore utile à son pays, qu'il avoit servi avec tant de dévoûment.

SONNINI.

vieilles ferrailles, il dit, avec grande raison, « que les ferrailles qui ont beaucoup de surface, et celles qui proviennent des vieux fers et clous de chevaux ou fragmens de petits cylindres ou carrés tords, ou des anneaux et boucles, toutes pièces qui supposent que le fer qu'on a employé pour les fabriquer étoit souple, liant et susceptible d'être plié, étendu ou tordu, doivent être préférées et recherchées pour la fabrication des canons de fusil ». On trouve dans ce même mémoire de M. de Montbeillard, d'excellentes réflexions sur les moyens de perfectionner les armes à feu, et d'en assurer la résistance par le choix du bon fer et par la manière de le traiter; l'auteur rapporte une très-bonne expérience (1), qui prouve

(1) Qu'on prenne une barre de fer, large de deux à trois pouces, épaisse de deux à trois lignes, qu'on la chauffe au rouge, et qu'avec la panne du marteau, on y pratique dans sa longueur une cannelure ou cavité, qu'on la plie sur elle-même pour la doubler et corroyer, l'on remplira ensuite la cannelure des écailles ou pailles en question; on lui donnera une chaude douce d'abord, en rabattant les bords, pour empêcher qu'elles ne s'échappent, et on battra la barre, comme on le pratique pour corroyer le fer, avant de la chauffer au blanc; on la chauffera ensuite

clairement que les vieilles ferrailles et même les écailles ou exfoliations qui se détachent de la surface du fer, et que bien des gens prennent pour des scories, se soudent ensemble de la manière la plus intime, et que par conséquent le fer qui en provient est d'aussi bonne et peut-être de meilleure qualité qu'aucun autre. Mais en même tems il conviendra avec moi, et il observe même dans la suite de son mémoire, que cet excellent fer ne doit pas être employé seul, par la raison même qu'il est trop parfait; et en effet, un fer qui, sortant de la forge, a toute sa perfection, n'est excellent que pour être employé tel qu'il est, ou pour des ouvrages qui ne demandent que des chaudes douces; car toute chaude vive, toute chaleur à blanc

---

blanche et fondante, et la pièce soudera à merveille; on la cassera à froid, et l'on n'y verra rien qui annonce que la soudure n'ait pas été complette et parfaite, et que toutes les parties du fer ne se soient pas pénétrées réciproquement, sans laisser aucun espace vide. J'ai fait cette expérience aisée à répéter, qui doit rassurer sur les pailles, soit qu'elles soient plates ou qu'elles aient la forme d'aiguilles, puisqu'elles ne sont autre chose que du fer, comme la barre avec laquelle on les incorpore, où elle ne forme plus qu'une même masse avec elle.

le dénature; j'en ai fait des épreuves plus que réitérées sur des morceaux de toute grosseur; le petit fer se dénature un peu moins que le gros, mais tous deux perdent la plus grande partie de leur nerf dès la première chaude à blanc; une seconde chaude pareille change et achève de détruire le nerf, elle altère même la qualité du grain qui, de fin qu'il étoit, devient grossier et brillant comme celui du fer le plus commun; une troisième chaude rend ces grains encore plus gros, et laisse déjà voir entre leurs interstices des parties noires de matière brûlée; enfin, en continuant de lui donner des chaudes, on arrive au dernier dégré de sa décomposition, et on le réduit en une terre morte qui ne paroît plus contenir de substance métallique, et dont on ne peut faire aucun usage. Car cette terre morte n'a pas, comme la plupart des autres chaux métalliques, la propriété de se revivifier par l'application des matières combustibles; elle ne contient guère plus de fer que le mâchefer commun tiré du charbon des végétaux; au lieu que les chaux des autres métaux se revivifient presque en entier ou du moins en très-grande partie, et cela achève de démontrer que le fer est une

matière presqu'entièrement combustible.
Ce fer que l'on tire, tant de cette terre ou chaux de fer, que du mâchefer provenant du charbon, m'a paru d'une singulière qualité, il est très-magnétique et très-infusible; j'ai trouvé du petit sable noir aussi magnétique, aussi indissoluble, et presque infusible dans quelques-unes des mines que j'ai fait exploiter; ce sablon ferrugineux et magnétique se trouve mêlé avec les grains de mine qui ne le sont point du tout, et provient certainement d'une cause toute autre : le feu a produit ce sablon magnétique, et l'eau les grains de mine, et lorsque par hasard ils se trouvent mélangés, c'est que le hasard a fait qu'on a brûlé de grands amas de bois, ou qu'on a fait des fourneaux de charbon sur le terrain qui renferme les mines; et que ce sablon ferrugineux qui n'est que le détriment du mâchefer que l'eau ne peut ni rouiller, ni dissoudre, a pénétré par la filtration des eaux auprès des lits de mine en grains, qui souvent ne sont qu'à deux ou trois pieds de profondeur. On a vu dans le mémoire précédent, que ce sablon ferrugineux qui provient du mâchefer des végétaux, ou si l'on veut du fer brûlé autant qu'il peut l'être,

paroît être le même à tous égards que celui qui se trouve dans la platine.

Le fer le plus parfait est celui qui n'a presque point de grain, et qui est entièrement d'un nerf de gris-cendré; le fer à nerf noir est encore très-bon, et peut-être est-il préférable au premier pour tous les usages où il faut chauffer plus d'une fois ce métal avant de l'employer; le fer de la troisième qualité, et qui est moitié nerf et moitié grain, est le fer par excellence pour le commerce, parce qu'on peut le chauffer deux ou trois fois sans le dénaturer; le fer sans nerf, mais à grain fin, sert aussi pour beaucoup d'usages; mais les fers sans nerf et à gros grains, devroient être proscrits et font le plus grand tort dans la société, parce que malheureusement ils y sont cent fois plus communs que les autres. Il ne faut qu'un coup-d'œil à un homme exercé pour connoître la bonne ou la mauvaise qualité du fer, mais les gens qui le font employer, soit dans leurs bâtimens, soit à leurs équipages, ne s'y connoissent ou n'y regardent pas, et paient souvent, comme très-bon, du fer que le fardeau fait rompre ou que la rouille détruit en peu de tems.

Autant les chaudes vives et poussées jus-

qu'au blanc, détériorent le fer, autant les chaudes douces où l'on ne le rougit que couleur de cerise, semblent l'améliorer; c'est par cette raison que les fers destinés à passer à la fenderie ou à la batterie, ne demandent pas à être fabriqués avec autant de soin que ceux qu'on appelle *fers marchands*, qui doivent avoir toute leur qualité. Le fer de tirerie fait une classe à part, il ne peut être trop pur; s'il contenoit des parties hétérogènes, il deviendroit très-cassant aux dernières filières; or il n'y a d'autre moyen de le rendre pur que de le faire bien suer en le chauffant la première fois jusqu'au blanc, et le martelant avec autant de force que de précaution, et ensuite en le faisant encore chauffer à blanc afin d'achever de le dépurer sous le martinet en l'alongeant pour en faire de la verge crénelée. Mais les fers destinés à être refendus pour en faire de la verge ordinaire, des fers aplatis, des languettes pour la tôle, tous les fers en un mot qu'on doit passer sous les cylindres, n'exigent pas le même dégré de perfection, parce qu'ils s'améliorent au four de la fenderie, où l'on n'emploie que du bois, et dans lequel tous ces fers ne prennent une chaleur que du second dégré, d'un rouge

couleur de feu, qui est suffisant pour les amollir, et leur permet de s'aplatir et de s'étendre sous les cylindres, et de se fendre ensuite sous les taillans. Néanmoins si l'on veut avoir de la verge bien douce, comme celle qui est nécessaire pour les clous à maréchal; si l'on veut des fers aplatis qui aient beaucoup de nerf, comme doivent être ceux qu'on emploie pour les roues, et particulièrement les bandages qu'on fait d'une seule pièce, dans lesquels il faut au moins un tiers de nerf; les fers qu'on livre à la fenderie doivent être de bonne qualité, c'est-à-dire, avoir au moins un tiers de nerf, car j'ai observé que le feu doux du four et la forte compression des cylindres rendent à la vérité le grain du fer un peu plus fin, et donnent même du nerf à celui qui n'avoit que du grain très-fin; mais ils ne convertissent jamais en nerf le gros grain des fers communs; en sorte qu'avec du mauvais fer à gros grains on pourra faire de la verge et des fers aplatis dont le grain sera moins gros, mais qui seront toujours trop cassans pour être employés aux usages dont je viens de parler.

Il en est de même de la tôle, on ne peut pas employer de trop bonne étoffe pour la

faire, et il est bien fâcheux qu'on fasse tout le contraire; car presque toutes nos tôles en France se font avec du fer commun; elles se rompent en les pliant, et se brûlent ou pourrissent en peu de tems; tandis que de la tôle faite comme celle de Suède ou d'Angleterre, avec du bon fer bien nerveux, se tordra cent fois sans rompre, et durera peut-être vingt fois plus que les autres. On en fait à mes forges de toute grandeur et de toute épaisseur, on en emploie à Paris pour les casseroles et autres pièces de cuisine qu'on étame et qu'on a raison de préférer aux casseroles de cuivre. On a fait avec cette même tôle grand nombre de poëles, de chaîneaux, de tuyaux, et j'ai depuis quatre ans l'expérience mille fois réitérée, qu'elle peut durer comme je viens de le dire, soit au feu, soit à l'air, beaucoup plus que les tôles communes, mais comme elle est un peu plus chère, le débit en est moindre, et l'on n'en demande que pour de certains usages particuliers auxquels les autres tôles ne pourroient être employées. Lorsqu'on est au fait, comme j'y suis, du commerce des fers, on diroit qu'en France on a fait un pacte général de ne se servir que de ce qu'il y a de plus mauvais en ce genre.

Avec du fer nerveux on pourra toujours faire d'excellente tôle, en faisant passer le fer des languettes sous les cylindres de la fenderie; ceux qui aplatissent ces languettes sous le martinet, après les avoir fait chauffer au charbon, sont dans un très-mauvais usage; le feu de charbon poussé par les soufflets, gâte le fer de ces languettes, celui du four de la fenderie ne fait que le perfectionner: d'ailleurs il en coûte plus de moitié moins pour faire les languettes au cylindre que pour les faire au martinet; ici l'intérêt s'accorde avec la théorie de l'art: il n'y a donc que l'ignorance qui puisse entretenir cette pratique, qui néanmoins est la plus générale, car il y a peut-être sur toutes les tôles qui se fabriquent en France, plus des trois quarts dont les languettes ont été faites au martinet. Cela ne peut pas être autrement, me dira-t-on, toutes les batteries n'ont pas à côté d'elles une fenderie et des cylindres montés; je l'avoue, et c'est ce dont je me plains: on a tort de permettre ces petits établissemens particuliers qui ne subsistent qu'en achetant dans les grosses forges les fers au meilleur marché, c'est-à-dire, tous les plus médiocres, pour les fabriquer ensuite en tôle et en petits fers de la plus mauvaise qualité.

Un autre objet fort important sont les fers de charrue, on ne sauroit croire combien la mauvaise qualité du fer dont on les fabrique, fait de tort aux laboureurs : on leur livre inhumainement des fers qui cassent au moindre effort, et qu'ils sont forcés de renouveler presqu'aussi souvent que leurs cultures; on leur fait payer bien cher du mauvais acier dont on arme la pointe de ces fers encore plus mauvais, et le tout est perdu pour eux au bout d'un an, et souvent en moins de tems; tandis qu'en employant pour ces fers de charrue, comme pour la tôle, le fer le meilleur et le plus nerveux, on pourroit les garantir pour un usage de vingt ans, et même se dispenser d'en aciérer la pointe; car j'ai fait faire plusieurs centaines de ces fers de charrue, dont j'ai fait essayer quelques-uns sans acier, et ils se sont trouvés d'une étoffe assez ferme pour résister au labour. J'ai fait la même expérience sur un grand nombre de pioches; c'est la mauvaise qualité de nos fers qui a établi chez les taillandiers l'usage général de mettre de l'acier à ces instrumens de campagne, qui n'en auroient pas besoin, s'ils étoient de bon fer, fabriqué avec des languettes passées sous les cylindres.

J'avoue qu'il y a de certains usages pour lesquels on pourroit fabriquer du fer aigre, mais encore ne faut-il pas qu'il soit à trop gros grain ni trop cassant; les clous pour les petites lattes à tuile, les broquettes et autres petits clous plient lorsqu'ils sont faits d'un fer trop doux; mais à l'exception de ce seul emploi, qu'on ne remplira toujours que trop, je ne vois pas qu'on doive se servir de fer aigre. Et si dans une bonne manufacture on en veut faire une certaine quantité, rien n'est plus aisé; il ne faut qu'augmenter d'une mesure ou d'une mesure et demie de mine au fourneau, et mettre à part les gueuses qui en proviendront, la fonte en sera moins bonne et plus blanche.

On les fera forger à part, en ne donnant que deux chaudes à chaque bande, et l'on aura du fer aigre qui se fendra plus aisément que l'autre, et qui donnera de la verge cassante.

Le meilleur fer, c'est-à-dire, celui qui a le plus de nerf, et par conséquent le plus de ténacité, peut éprouver cent et deux cents coups de masse sans se rompre, et comme il faut néanmoins le casser pour tous les usages de la fenderie et de la batterie, et que cela demanderoit beaucoup de tems, même

en s'aidant du ciseau d'acier, il vaut mieux faire couper sous le marteau de la forge, les barres encore chaudes à moitié de leur épaisseur, cela n'empêche pas le marteleur de les achever, et épargne beaucoup de tems au fendeur et au platineur. Tout le fer que j'ai fait casser à froid et à grands coups de masse, s'échauffe d'autant plus, qu'il est plus fortement et plus souvent frappé : non-seulement il s'échauffe au point de brûler très-vivement, mais il s'aimante comme s'il eût été frotté sur un très-bon aimant. M'étant assuré de la constance de cet effet, par plusieurs observations successives, je voulus voir si sans percussion je pourrois de même produire dans le fer la vertu magnétique; je fis prendre pour cela une verge de trois lignes de grosseur de mon fer le plus liant, et que je connoissois pour être très-difficile à rompre, et l'ayant fait plier et replier, par les mains d'un homme fort, sept ou huit fois de suite sans pouvoir la rompre, je trouvai le fer très-chaud au point où on l'avoit plié, et il avoit en même tems toute la vertu d'un barreau bien aimanté. J'aurai occasion dans la suite de revenir à ce phénomène, qui tient de très-près à la théorie du magnétisme et de l'électricité, et que je ne rapporte

ici que pour démontrer que plus une matière est tenace, c'est-à-dire, plus il faut d'efforts pour la diviser, plus elle est près de produire de la chaleur et tous les autres effets qui peuvent en dépendre, et prouver en même tems que la simple pression produisant le frottement des parties intérieures, équivaut à l'effet de la plus violente percussion.

On soude tous les jours le fer avec lui-même ou sur lui-même, mais il faut la plus grande précaution pour qu'il ne se trouve pas un peu plus foible aux endroits des soudures; car pour réunir et souder les deux bouts d'une barre, on les chauffe jusqu'au blanc le plus vif, le fer dans cet état est tout prêt à fondre, il n'y arrive pas sans perdre toute sa ténacité, et par conséquent tout son nerf; il ne peut donc en reprendre dans toute cette partie qu'on soude, que par la percussion des marteaux dont deux ou trois ouvriers font succéder les coups le plus vîte qu'il leur est possible, mais cette percussion est très-foible, et même lente, en comparaison de celle du marteau de la forge ou même de celle du martinet; ainsi l'endroit soudé, quelque bonne que soit l'étoffe, n'aura que peu de nerf et souvent point du tout, si l'on

n'a pas bien saisi l'instant où les deux morceaux sont également chauds, et si le mouvement du marteau n'a pas été assez prompt et assez fort pour les bien réunir. Aussi quand on a des pièces importantes à souder, on fera bien de le faire sous les martinets les plus prompts. La soudure dans les canons des armes à feu est une des choses les plus importantes ; M. de Montbeillard, dans le mémoire que j'ai cité ci-dessus, donne de très-bonnes vues sur cet objet, et même des expériences décisives : je crois avec lui, que comme il faut chauffer à blanc nombre de fois la bande, ou *maquette* pour souder le canon dans toute sa longueur, il ne faut pas employer du fer qui seroit au dernier dégré de sa perfection, parce qu'il ne pourroit que se détériorer par ces fréquentes chaudes vives ; qu'il faut au contraire choisir le fer qui, n'étant pas encore aussi épuré qu'il peut l'être, gagnera plutôt de la qualité qu'il n'en perdra par ces nouvelles chaudes ; mais cet article seul demanderoit un grand travail fait et dirigé par un homme aussi éclairé que M. de Montbeillard, et l'objet en est d'une si grande importance pour la vie des hommes et pour la gloire de l'Etat, qu'il mérite la plus grande attention.

Le

Le fer se décompose par l'humidité, comme par le feu; il attire l'humide de l'air, s'en pénètre et se rouille, c'est-à-dire, se convertit en une espèce de terre sans liaison, sans cohérence; cette conversion se fait en assez peu de tems, dans les fers qui sont de mauvaise qualité ou mal fabriqués: ceux dont l'étoffe est bonne, et dont les surfaces sont bien lisses ou polies, se défendent plus long-tems, mais tous sont sujets à cette espèce de mal, qui de la superficie gagne assez promptement l'intérieur, et détruit avec le tems le corps entier du fer. Dans l'eau, il se conserve beaucoup mieux qu'à l'air, et quoiqu'on s'apperçoive de son altération par la couleur noire qu'il y prend, après un long séjour, il n'est point dénaturé, il peut être forgé, au lieu que celui qui a été exposé à l'air, pendant quelques siècles, et que les ouvriers appellent du *fer luné*, parce qu'ils s'imaginent que la lune le mange, ne peut ni se forger, ni servir à rien, à moins qu'on ne le revivifie, comme les rouilles et les safrans de mars, ce qui coûte communément plus que le fer ne vaut. C'est en ceci que consiste la différence des deux décompositions du fer; dans celle qui se fait par le feu, la plus grande partie du fer se brûle et s'exhale en

vapeurs, comme les autres matières combustibles, il ne reste qu'un mâchefer qui contient, comme celui du bois, une petite quantité de matière très-attirable par l'aimant, qui est bien du vrai fer, mais qui m'a paru d'une nature singulière et semblable, comme je l'ai dit, au sablon ferrugineux qui se trouve en si grande quantité dans la platine. La décomposition par l'humidité ne diminue pas à beaucoup près autant que la combustion, la masse du fer, mais elle en altère toutes les parties, au point de leur faire perdre leur vertu magnétique, leur cohérence et leur couleur métallique; c'est de cette rouille ou terre de fer que sont, en grande partie, composées les mines en grains : l'eau, après avoir atténué ces particules de rouille, et les avoir réduites en molécules insensibles, les charie et les dépose par filtration dans le sein de la terre, où elles se réunissent en grain par une sorte de cristallisation, qui se fait, comme toutes les autres, par l'attraction mutuelle des molécules analogues; et comme cette rouille de fer étoit privée de la vertu magnétique, il n'est pas étonnant que les mines en grain qui en proviennent, en soient également dépourvues. Ceci me paroît démontrer d'une manière

assez claire, que le magnétisme suppose l'action précédente du feu; que c'est une qualité particulière que le feu donne au fer, et que l'humidité de l'air lui enlève, en le décomposant.

Si l'on met dans un vase une grande quantité de limaille de fer pure, qui n'a pas encore pris de rouille, et si on la couvre d'eau, on verra, en la laissant sécher, que cette limaille se réunit par ce seul intermède, au point de faire une masse de fer assez solide, pour qu'on ne puisse la casser qu'à coups de masse; ce n'est donc pas précisément l'eau qui décompose le fer et qui produit la rouille, mais plutôt les sels et les vapeurs sulfureuses de l'air, car on sait que le fer se dissout très-aisément par les acides et par le soufre. En présentant une verge de fer bien rouge à une bille de soufre, le fer coule dans l'instant, et en le recevant dans l'eau, on obtient des grenailles, qui ne sont plus du fer ni même de la fonte; car j'ai éprouvé qu'on ne pouvoit pas les réunir au feu pour les forger, c'est une matière qu'on ne peut comparer qu'à la pyrite martiale, dans laquelle le fer paroît être également décomposé par le soufre; et je crois que c'est par cette raison que l'on trouve presque par-tout à la sur-

face de la terre, et sous les premiers lits de ses couches extérieures, une assez grande quantité de ces pyrites, dont le grain ressemble à celui du mauvais fer, mais qui n'en contiennent qu'une très-petite quantité, mêlée avec beaucoup d'acide vitriolique et plus ou moins de soufre.

CINQUIÈME MÉMOIRE.

Expériences sur les effets de la Chaleur obscure.

Pour reconnoître les effets de la chaleur obscure, c'est-à-dire, de la chaleur privée de lumière, de flamme et de feu libre, autant qu'il est possible, j'ai fait quelques expériences en grand, dont les résultats m'ont paru très-intéressans.

Première expérience.

On a commencé, sur la fin d'août 1772, à mettre des braises ardentes dans le creuset du grand fourneau qui sert à fondre la mine de fer, pour la couler en gueuses, ces braises ont achevé de sécher les mortiers qui étoient faits de glaise mêlée par égale portion avec du sable vitrescible. Le fourneau avoit 23 pieds de hauteur. On a jeté par le gueulard (c'est ainsi qu'on appelle l'ouverture supérieure du fourneau) les charbons ardens que l'on tiroit des petits fourneaux d'expériences, on a mis successivement une assez grande quantité de ces braises pour rem-

plir le bas du fourneau jusqu'à la cuve (c'est ainsi qu'on appelle l'endroit de la plus grande capacité du fourneau), ce qui, dans celui - ci, montoit à sept pieds deux pouces de hauteur perpendiculaire, depuis le fond du creuset. Par ce moyen, on a commencé de donner au fourneau une chaleur modérée, qui ne s'est pas fait sentir dans la partie la plus élevée.

Le 10 septembre, on a vidé toutes ces braises réduites en cendres par l'ouverture du creuset, et lorsqu'il a été bien nettoyé, on y a mis quelques charbons ardens et d'autres charbons par-dessus, jusqu'à la quantité de 600 livres pesant; ensuite, on a laissé prendre le feu, et le lendemain 11 septembre, on a achevé de remplir le fourneau avec 4,800 livres de charbon; ainsi, il contient en tout 5,400 livres de charbon, qui y ont été portées en 135 corbeilles de 40 livres chacune, tare faite.

On a laissé pendant ce tems l'entrée du creuset ouverte, et celle de la tuyère bien bouchée, pour empêcher le feu de se communiquer aux soufflets. La première impression de la grande chaleur, produite par le long séjour des braises ardentes et par cette première combustion du charbon, s'est mar-

quée par une petite fente qui s'est faite dans la pierre du fond, à l'entrée du creuset, et par une autre fente qui s'est faite dans la pierre de la tympe. Le charbon néanmoins, quoique fort allumé dans le bas, ne l'étoit encore qu'à une très-petite hauteur, et le fourneau ne donnoit au gueulard qu'assez peu de fumée, ce même jour 12 septembre, à six heures du soir; car cette ouverture supérieure n'étoit pas bouchée, non plus que l'ouverture du creuset.

A neuf heures du soir du même jour, la flamme a percé jusqu'au-dessus du fourneau, et comme elle est devenue très-vive en peu de tems, on a bouché l'ouverture du creuset à dix heures du soir. La flamme, quoique fort ralentie par cette suppression du courant de l'air, s'est soutenue pendant la nuit et le jour suivant; en sorte que le lendemain 13 septembre, vers les quatre heures du soir, le charbon avoit baissé d'un peu plus de 4 pieds. On a rempli ce vide à cette même heure, avec onze corbeilles de charbon, pesant ensemble 440 livres; ainsi le fourneau a été chargé en tout de 5,840 livres de charbon.

Ensuite on a bouché l'ouverture supérieure du fourneau avec un large couvercle

de forte tôle, garnie tout autour avec du mortier de glaise et sable mêlé de poudre de charbon, et chargé d'un pied d'épaisseur de cette poudre de charbon mouillée : pendant que l'on bouchoit, on a remarqué que la flamme ne laissoit pas de retentir assez fortement dans l'intérieur du fourneau; mais en moins d'une minute, la flamme a cessé de retentir, et l'on n'entendoit plus aucun bruit ni murmure, en sorte qu'on auroit pu penser que l'air n'ayant point d'accès dans la cavité du fourneau, le feu y étoit entièrement étouffé.

On a laissé le fourneau ainsi bouché par-tout, tant au-dessus qu'au-dessous, depuis le 13 septembre jusqu'au 28 du même mois, c'est-à-dire, pendant quinze jours. J'ai remarqué pendant ce tems, que quoiqu'il n'y eût point de flamme dans le fourneau, ni même de feu lumineux, la chaleur ne laissoit pas d'augmenter et de se communiquer autour de la cavité du fourneau.

Le 28 septembre, à dix heures du matin, on a débouché l'ouverture supérieure du fourneau avec précaution, dans la crainte d'être suffoqué par la vapeur du charbon; j'ai remarqué avant de l'ouvrir, que la cha-

leur avoit gagné jusqu'à 4 pieds $\frac{1}{2}$ dans l'épaisseur du massif qui forme la tour du fourneau ; cette chaleur n'étoit pas fort grande aux environs de la *bûre* (*c'est* ainsi qu'on appelle la partie supérieure du fourneau qui s'élève au-dessus de son terre-plein). Mais à mesure qu'on approchoit de la cavité , les pierres étoient déjà si fort échauffées , qu'il n'étoit pas possible de les toucher un instant ; les mortiers dans les joints des pierres étoient en partie brûlés, et il paroissoit que la chaleur étoit beaucoup plus grande encore dans le bas du fourneau, car les pierres du dessus de la tympe et de la tuyère, étoient excessivement chaudes dans toute leur épaisseur jusqu'à quatre ou cinq pieds.

Au moment qu'on a débouché le gueulard du fourneau, il en est sorti une vapeur suffoquante, dont il a fallu s'éloigner, et qui n'a pas laissé de faire mal à la tête à la plupart des assistans. Lorsque cette vapeur a été dissipée, on a mesuré de combien le charbon enfermé et privé d'air courant pendant quinze jours, avoit diminué, et l'on a trouvé qu'il avoit baissé de 14 pieds 5 pouces de hauteur; en sorte que le fourneau étoit vide dans toute sa partie supérieure jusqu'auprès de la cuve.

Ensuite j'ai observé la surface de ce charbon, et j'y ai vu une petite flamme qui venoit de naître ; il étoit absolument noir et sans flamme auparavant. En moins d'une heure, cette petite flamme bleuâtre est devenue rouge dans le centre, et s'élevoit alors d'environ deux pieds au dessus du charbon.

Une heure après avoir débouché le gueulard, j'ai fait déboucher l'entrée du creuset : la première chose qui s'est présentée à cette ouverture n'a pas été du feu comme on auroit pu le présumer, mais des scories provenantes du charbon, et qui ressembloient à du mâchefer léger ; ce mâchefer étoit en assez grande quantité, et remplissoit tout l'intérieur du creuset, depuis la tympe à la rustine ; et ce qu'il y a de singulier, c'est que quoiqu'il ne se fût formé que par une grande chaleur, il avoit intercepté cette même chaleur au dessus du creuset, en sorte que les parties de ce mâchefer qui étoient au fond, n'étoient, pour ainsi dire, que tièdes ; néanmoins elles s'étoient attachées au fond et aux parois du creuset ; et elles en avoient réduit en chaux quelques portions jusqu'à plus de trois ou quatre pouces de profondeur.

J'ai fait tirer ce mâchefer et l'ai fait mettre à part pour l'examiner ; on a aussi tiré la chaux

du creuset et des environs, qui étoit en assez grande quantité. Cette calcination qui s'est faite par ce feu sans flamme, m'a paru provenir en partie de l'action de ces scories du charbon. J'ai pensé que ce feu sourd et sans flamme étoit trop sec, et je crois que si j'avois mêlé quelque portion de laitier ou de terre vitrescible avec le charbon, cette terre auroit servi d'aliment à la chaleur, et auroit rendu des matières fondantes qui auroient préservé de la calcination la surface de l'ouvrage du fourneau.

Quoi qu'il en soit, il résulte de cette expérience, que la chaleur seule, c'est-à-dire, la chaleur obscure, renfermée, et privée d'air autant qu'il est possible, produit néanmoins, avec le tems, des effets semblables à ceux du feu le plus actif et le plus lumineux. On sait qu'il doit être violent pour calciner la pierre. Ici c'étoit de toutes les pierres calcaires la moins calcinable, c'est-à-dire, la plus résistante au feu, que j'avois choisie pour faire construire l'ouvrage et la cheminée de mon fourneau; toute cette pierre d'ailleurs avoit été taillée et posée avec soin, les plus petits quartiers avoient un pied d'épaisseur, un pied et demi de largeur, sur trois et quatre pieds de lon-

gueur, et dans ce gros volume, la pierre est encore bien plus difficile à calciner que quand elle est réduite en moellons. Cependant cette seule chaleur a non seulement calciné ces pierres à près d'un demi-pied de profondeur dans la partie la plus étroite et la plus froide du fourneau, mais encore a brûlé en même tems les mortiers faits de glaise et de sable, sans les faire fondre, ce que j'aurois mieux aimé, parce qu'alors les joints de la bâtisse du fourneau se seroient conservés pleins, au lieu que la chaleur ayant suivi la route de ces joints, a encore calciné les pierres sur toutes les faces des joints. Mais pour faire mieux entendre les effets de cette chaleur obscure et concentrée, je dois observer : 1°. Que le massif du fourneau étant de 28 pieds d'épaisseur de deux faces, et de 24 pieds d'épaisseur des deux autres faces, et la cavité où étoit contenu le charbon, n'ayant que 6 pieds dans sa plus grande largeur, les murs pleins qui environnent cette cavité avoient 9 pieds d'épaisseur de maçonnerie à chaux et sable aux parties les moins épaisses ; que par conséquent on ne peut pas supposer qu'il ait passé de l'air à travers ces murs de 9 pieds : 2°.Que cette cavité qui contenoit le charbon,

ayant été bouchée en bas à l'endroit de la coulée avec un mortier de glaise mêlé de sable d'un pied d'épaisseur, et à la tuyère qui n'a que quelques pouces d'ouverture, avec ce même mortier dont on se sert pour tous les bouchages ; il n'est pas à présumer qu'il ait pu entrer de l'air par ces deux ouvertures : 3°. Que le gueulard du fourneau ayant de même été fermé avec une plaque de forte tôle lutée, et recouverte avec le même mortier, sur environ six pouces d'épaisseur, et encore environnée et surmontée de poussière de charbon mêlé avec ce mortier, sur six autres pouces de hauteur, tout accès à l'air par cette dernière ouverture étoit interdit. On peut donc assurer qu'il n'y avoit point d'air circulant dans toute cette cavité, dont la capacité étoit de 330 pieds cubes, et que l'ayant remplie de 5,400 livres de charbon, le feu étouffé dans cette cavité n'a pu se nourrir que de la petite quantité d'air contenue dans les intervalles que laissoient entr'eux les morceaux de charbon ; et comme cette matière jetée l'une sur l'autre laisse de très-grands vides, supposons moitié ou même trois quarts, il n'y a donc eu dans cette cavité que 165, ou tout au plus 248 pieds cubes

d'air. Or, le feu du fourneau excité par les soufflets, consomme cette quantité d'air en moins d'une demi-minute; et cependant il sembleroit qu'elle a suffi pour entretenir pendant quinze jours la chaleur, et l'augmenter à peu près au même point que celle du feu libre, puisqu'elle a produit la calcination des pierres à quatre pouces de profondeur dans le bas, et à plus de deux pieds de profondeur dans le milieu et dans toute l'étendue du fourneau, ainsi que nous le dirons tout-à-l'heure. Comme cela me paroissoit assez inconcevable, j'ai d'abord pensé qu'il falloit ajouter à ces 248 pieds cubes d'air, contenus dans la cavité du fourneau, toute la vapeur de l'humidité des murs, que la chaleur concentrée n'a pu manquer d'attirer, et de laquelle il n'est guère possible de faire une juste estimation. Ce sont-là les seuls alimens, soit en air, soit en vapeurs aqueuses que cette très-grande chaleur a consommés pendant quinze jours; car il ne se dégage que peu ou point d'air du charbon dans sa combustion, quoiqu'il s'en dégage plus d'un tiers du poids total du bois de chêne bien séché (1); cet air fixe

(1) Hales, *Statique des végétaux*, p. 152.

contenu dans le bois, en est chassé par la première opération du feu qui le convertit en charbon, et s'il en reste, ce n'est qu'en si petite quantité qu'on ne peut pas la regarder comme le supplément de l'air qui manquoit ici à l'entretien du feu. Ainsi cette chaleur très-grande et qui s'est augmentée au point de calciner profondément les pierres, n'a été entretenue que par 248 pieds cubes d'air et par les vapeurs, de l'humidité des murs; et quand nous supposerions le produit successif de cette humidité cent fois plus considérable que le volume d'air contenu dans la cavité du fourneau, cela ne feroit toujours que 24,800 pieds cubes de vapeurs propres à entretenir la combustion; quantité que le feu libre et animé par les soufflets consommeroit en moins de 30 minutes, tandis que la chaleur sourde ne la consomme qu'en quinze jours.

Et ce qu'il est nécessaire d'observer encore, c'est que le même feu libre et animé auroit consumé en 11 ou 12 heures les 3,600 livres de charbon, que la chaleur obscure n'a consommé qu'en quinze jours; elle n'a donc eu que la trentième partie de l'aliment du feu libre, puisqu'il y a eu trente fois autant de tems employé à la con-

sommation de la matière combustible, et en même tems il y a eu environ sept cents vingt fois moins d'air ou de vapeurs employées à cette combustion. Néanmoins les effets de cette chaleur obscure ont été les mêmes que ceux du feu libre, car il auroit fallu quinze jours de ce feu violent et animé pour calciner les pierres au même dégré qu'elles l'ont été par la chaleur seule; ce qui nous démontre d'une part l'immense déperdition de la chaleur lorsqu'elle s'exhale avec les vapeurs et la flamme, et d'autre part les grands effets qu'on peut attendre de sa concentration, ou pour mieux dire, de sa coërcion, de sa détention. Car cette chaleur retenue et concentrée ayant produit les mêmes effets que le feu libre et violent, avec trente fois moins de matière combustible et sept cents vingt fois moins d'air, et étant supposée en raison composée de ces deux élémens, on doit en conclure que dans nos grands fourneaux à fondre les mines de fer, il se perd vingt-un mille fois plus de chaleur qu'il ne s'en applique, soit à la mine, soit aux parois du fourneau; en sorte qu'on imagineroit que les fourneaux de réverbère où la cha-

leur

leur est plus concentrée, devroient produire le feu le plus puissant.

Cependant j'ai acquis la preuve du contraire, nos mines de fer ne s'étant pas même agglutinées par le feu de réverbère de la glacerie de Rouelles en Bourgogne, tandis qu'elles fondent en moins de 12 heures au feu de mes fourneaux à soufflets : cette différence tient au principe que j'ai donné ; le feu par sa vîtesse ou par son volume, produit des effets tous différens sur certaines substances telle que la mine de fer, tandis que sur d'autres substances telle que la pierre calcaire, il peut en produire de semblables. La fusion est en général une opération prompte qui doit avoir plus de rapport avec la vîtesse du feu que la calcination qui est presque toujours lente, et qui doit dans bien des cas avoir plus de rapport au volume du feu ou à son long séjour, qu'à sa vîtesse. On verra par l'expérience suivante, que cette même chaleur retenue et concentrée n'a fait aucun effet sur la mine de fer.

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

Dans ce même fourneau de 23 pieds de hauteur, après avoir fondu de la mine de

fer pendant environ quatre mois, je fis couler les dernières gueuses en remplissant toujours avec du charbon, mais sans mine, afin d'en tirer toute la matière fondue; et quand je me fus assuré qu'il n'en restoit plus, je fis cesser le vent, boucher exactement l'ouverture de la tuyère et celle de la coulée qu'on maçonna avec de la brique et du mortier de glaise mêlé de sable. Ensuite je fis porter sur le charbon autant de mine qu'il pouvoit en entrer dans le vide qui étoit au dessus du fourneau : il y en entra cette première fois vingt-sept mesures de 60 l., c'est-à-dire, 1,620 l. pour affleurer le niveau du gueulard, après quoi je fis boucher cette ouverture avec la même plaque de forte tôle et du mortier de glaise et sable, et encore de la poudre de charbon en grande quantité : on imagine bien quelle immense chaleur je renfermois ainsi dans le fourneau, tout le charbon en étoit allumé du haut en bas lorsque je fis cesser le vent; toutes les pierres des parois étoient rouges du feu qui les pénétroit depuis quatre mois; toute cette chaleur ne pouvoit s'exhaler que par deux petites fentes qui s'étoient faites au mur du fourneau, et que je fis remplir de bon mortier, afin de lui ôter encore ces issues : trois

jours après je fis déboucher le gueulard, et je vis, avec quelque surprise, que malgré cette chaleur immense renfermée dans le fourneau, le charbon ardent, quoique comprimé par la mine et chargé de 1,620 l., n'avoit baissé que de seize pouces en trois jours ou soixante-douze heures. Je fis sur le champ remplir ces seize pouces de vide avec vingt-cinq mesures de mine, pesant ensemble 1,500 l. Trois jours après je fis déboucher cette même ouverture du gueulard, et je trouvai le même vide de seize pouces, et par conséquent la même diminution, ou si l'on veut le même affaissement du charbon; je fis remplir de même avec 1,500 l. de mine, ainsi il y en avoit déjà 4,620 l. sur le charbon, qui étoit tout embrâsé lorsqu'on avoit commencé de fermer le fourneau. Six jours après je fis déboucher le gueulard pour la troisième fois, et je trouvai que pendant ces six jours le charbon n'avoit baissé que de 20 pouces, que l'on remplit avec 1,860 l. de mine; enfin neuf jours après on déboucha pour la quatrième fois, et je vis que pendant ces neuf derniers jours le charbon n'avoit baissé que de vingt-un pouces, que je fis remplir de 1,920 liv. de mine; ainsi il y en avoit en tout 8,400 liv.: on referma le

gueulard avec les mêmes précautions, et le lendemain, c'est-à-dire, vingt-deux jours après avoir bouché pour la première fois, je fis rompre la petite maçonnerie de briques qui bouchoit l'ouverture de la coulée en laissant toujours fermée celle du gueulard, afin d'éviter le courant d'air qui auroit enflammé le charbon. La première chose que l'on tira par l'ouverture de la coulée, furent des morceaux réduits en chaux dans l'ouvrage du fourneau; on y trouva aussi quelques petits morceaux de mâchefer, quelques autres d'une fonte mal digérée, et environ une livre et demie de très-bon fer qui s'étoit formé par coagulation. On tira près d'un tombereau de toutes ces matières, parmi lesquelles il y avoit aussi quelques morceaux de mine brûlée et presque réduite en mauvais laitier; cette mine brûlée ne provenoit pas de celle que j'avois fait imposer sur les charbons, après avoir fait cesser le vent, mais de celle qu'on y avoit jetée sur la fin du fondage, qui s'étoit attachée aux parois du fourneau, et qui ensuite étoit tombée dans le creuset avec les parties de pierres calcinées auxquelles elle étoit unie.

Après avoir tiré ces matières, on fit tomber le charbon; le premier qui parut, étoit à peine

rouge ; mais dès qu'il eut de l'air, il devint très-rouge ; on ne perdit pas un instant à le tirer, et on l'éteignoit en même tems en jetant de l'eau dessus. Le gueulard étant toujours bien fermé, on tira tout le charbon par l'ouverture de la coulée, et aussi toute la mine dont je l'avois fait charger. La quantité de ce charbon tiré du fourneau, montoit à cent quinze corbeilles ; en sorte que pendant ces vingt-deux jours d'une chaleur si violente, il paroissoit qu'il ne s'en étoit consumé que dix-sept corbeilles, car toute la capacité du fourneau n'en contient que cent trente-cinq ; et comme il y avoit seize pouces et demi de vide lorsqu'on le boucha, il faut déduire deux corbeilles qui auroient été nécessaires pour remplir ce vide.

Etonné de cette excessivement petite consommation du charbon pendant vingt-deux jours de l'action de la plus violente chaleur qu'on eût jamais enfermée, je regardai ces charbons de plus près, et je vis que quoiqu'ils eussent aussi peu perdu sur leur volume, ils avoient beaucoup perdu sur leur masse, et que quoique l'eau avec laquelle on les avoit éteints leur eût rendu du poids, ils étoient encore d'environ un tiers plus légers que quand on les avoit jetés au fourneau ;

cas où il étoit dans l'état de la plus forte incandescence, toutes ses parties les plus combustibles étoient déjà brûlées. Dans la première expérience, la chaleur, d'abord très-médiocre, alloit toujours en augmentant à mesure que la combustion augmentoit et se communiquoit de plus en plus à la masse entière du charbon. Dans la seconde expérience, la chaleur excessive alloit en diminuant à mesure que le charbon achevoit de brûler, et il ne pouvoit plus donner autant de chaleur, parce que sa combustion étoit fort avancée au moment qu'on l'avoit enfermé. C'est-là la vraie cause de cette différence d'effets. Le charbon dans la première expérience, contenant toutes ses parties combustibles, brûloit mieux et se consumoit plus vîte que celui de la seconde expérience, qui ne contenoit presque plus de matière combustible, et ne pouvoit augmenter son feu ni même l'entretenir au même dégré que par l'emprunt de celui des murs du fourneau; c'est par cette seule raison que la combustion alloit toujours en diminuant, et qu'au total elle a été beaucoup moindre et plus lente que l'autre qui alloit toujours en augmentant, et qui s'est faite en moins de tems. Lorsque tout accès est

fermé à l'air, et que les matières renfermées n'en contiennent que peu ou point dans leur substance, elles ne se consumeront pas, quelque violente que soit la chaleur; mais s'il reste une certaine quantité d'air entre les interstices de la matière combustible, elle se consumera d'autant plus vîte et d'autant plus qu'elle pourra fournir elle-même une plus grande quantité d'air; 3°. il résulte encore de ces expériences, que la chaleur la plus violente, dès qu'elle n'est pas nourrie, produit moins d'effet que la plus petite chaleur qui trouve de l'aliment; la première est pour ainsi dire une chaleur morte qui ne se fait sentir que par sa déperdition; l'autre est un feu vivant qui s'accroît à proportion des alimens qu'il consume. Pour reconnoître ce que cette chaleur morte, c'est-à-dire, cette chaleur dénuée de tout aliment pouvoit produire, j'ai fait l'expérience suivante :

Troisième expérience.

Après avoir tiré du fourneau, par l'ouverture de la coulée, tout le charbon qui y étoit contenu, et l'avoir entièrement vidé de mine et de toute autre matière, je fis

calciné les mêmes pierres à plus de huit pouces d'épaisseur dans les endroits où il est le plus vif, et seulement à deux ou trois pouces dans tout le reste, au lieu que toutes les pierres, depuis le creuset jusqu'au terre-plein du fourneau, ce qui fait une hauteur de vingt pieds, étoient généralement réduites en chaux d'un pied et demi, de deux pieds, et même de deux pieds et demi d'épaisseur : comme cette chaleur renfermée n'avoit pu trouver d'issue, elle avoit pénétré les pierres bien plus profondément que la chaleur courante.

On pourroit tirer de cette expérience les moyens de cuire la pierre et de faire de la chaux à moindres frais, c'est-à-dire, de diminuer de beaucoup la quantité de bois en se servant d'un fourneau bien fermé au lieu de fourneaux ouverts ; il ne faudroit qu'une petite quantité de charbon, pour convertir en chaux, dans moins de quinze jours, toutes les pierres contenues dans le fourneau, et les murs même du fourneau à plus d'un pied d'épaisseur, s'il étoit bien exactement fermé.

Dès que le fourneau fut assez refroidi pour permettre aux ouvriers d'y travailler, on fut obligé d'en démolir tout l'intérieur du haut

en bas, sur une épaisseur circulaire de quatre pieds, on en tira 54 muids de chaux, sur laquelle je fis les observations suivantes : 1°. toute cette pierre, dont la calcination s'étoit faite à feu lent et concentré, n'étoit pas devenue aussi légère que la pierre calcinée à la manière ordinaire ; celle-ci, comme je l'ai dit, perd à très-peu près la moitié de son poids, et celle de mon fourneau n'en avoit perdu qu'environ trois huitièmes ; 2°. elle ne saisit pas l'eau avec la même avidité que la chaux vive ordinaire ; lorsqu'on l'y plonge, elle ne donne d'abord aucun signe de chaleur ni d'ébullition, mais peu après elle se gonfle, se divise et s'élève, en sorte qu'on n'a pas besoin de la remuer comme on remue la chaux vive ordinaire pour l'éteindre; 3°. cette chaux a une saveur beaucoup plus âcre que la chaux commune, elle contient par conséquent beaucoup plus d'alkali fixe; 4°. elle est infiniment meilleure, plus liante et plus forte que l'autre chaux, et tous les ouvriers n'en emploient qu'environ les deux tiers de l'autre, et assurent que le mortier est encore excellent; 5°. cette chaux ne s'éteint à l'air qu'après un tems très-long, tandis qu'il ne faut qu'un jour ou deux pour réduire la chaux vive commune

en poudre à l'air libre, celle-ci résiste à l'impression de l'air pendant un mois ou cinq semaines; 6°. au lieu de se réduire en farine ou en poussière sèche comme la chaux commune, elle conserve son volume, et lorsqu'on la divise en l'écrasant, toute la masse paroît ductile et pénétrée d'une humidité grasse et liante, qui ne peut provenir que de l'humide de l'air que la pierre a puissamment attiré et absorbé pendant les cinq semaines de tems employées à son extinction. Au reste, la chaux que l'on tire communément des fourneaux de forge, a toutes ces mêmes propriétés; ainsi la chaleur obscure et lente produit encore ici les mêmes effets que le feu le plus vif et le plus violent.

Il sortit de cette démolition de l'intérieur du fourneau, 232 quartiers de pierres de taille, tous calcinés plus ou moins profondément; ces quartiers avoient communément quatre pieds de longueur; la plupart étoient en chaux jusqu'à dix-huit pouces, et les autres à deux pieds, et même deux pieds et demi; et cette portion calcinée se séparoit aisément du reste de la pierre qui étoit saine et même plus dure que quand on l'avoit posée pour bâtir le fourneau. Cette obser-

vation m'engagea à faire les expériences suivantes :

QUATRIÈME EXPÉRIENCE.

Je fis peser dans l'air et dans l'eau trois morceaux de ces pierres qui , comme l'on voit, avoient subi la plus grande chaleur qu'elles pussent éprouver sans se réduire en chaux , et j'en comparai la pesanteur spécifique avec celle de trois autres morceaux à peu près du même volume, que j'avois fait prendre dans d'autres quartiers de cette même pierre qui n'avoient point été employés à la construction du fourneau, ni par conséquent chauffés , mais qui avoient été tirés de la même carrière neuf mois auparavant, et qui étoient restés à l'exposition du soleil et de l'air. Je trouvai que la pesanteur spécifique des pierres échauffées à ce grand feu pendant cinq mois avoit augmenté, qu'elle étoit constamment plus grande que celle de la même pierre non échauffée, d'un 81ᵉ. sur le premier morceau, d'un 90ᵉ. sur le second, et d'un 85ᵉ. sur le troisième; donc la pierre chauffée au dégré voisin de celui de sa calcination, gagne au moins un 86ᵉ. de masse, au lieu

qu'elle en perd trois huitièmes par la calcination qui ne suppose qu'un dégré de chaleur de plus. Cette différence ne peut venir que de ce qu'à un certain dégré de violente chaleur ou de feu, tout l'air et toute l'eau transformés en matière fixe dans la pierre, reprennent leur première nature, leur élasticité, leur volatilité, et que dès-lors ils se dégagent de la pierre et s'élèvent en vapeurs, que le feu enlève et entraîne avec lui. Nouvelle preuve que la pierre calcaire est en très-grande partie composée d'air fixe et d'eau fixe saisis et transformés en matière solide par le filtre animal.

Après ces expériences, j'en fis d'autres sur cette même pierre échauffée à un moindre dégré de chaleur, mais pendant un tems aussi long; je fis détacher pour cela trois morceaux des parois extérieures de la lunette de la tuyère, dans un endroit où la chaleur étoit à peu près de 95 dégrés, parce que le soufre appliqué contre la muraille s'y ramollissoit et commençoit à fondre, et que ce dégré de chaleur est à très peu près celui auquel le soufre entre en fusion. Je trouvai par trois épreuves semblables aux précédentes, que cette même pierre chauffée à ce dégré pendant cinq mois, avoit augmenté en pesanteur

pesanteur spécifique d'un 65e, c'est-à-dire, de presque un quart de plus que celle qui avoit éprouvé le dégré de chaleur voisin de celui de la calcination, et je conclus de cette différence que l'effet de la calcination commençoit à se préparer dans la pierre qui avoit subi le plus grand feu, au lieu que celle qui n'avoit éprouvé qu'une moindre chaleur, avoit conservé toutes les parties fixes qu'elle y avoit déposées.

Pour me satisfaire pleinement sur ce sujet, et reconnoître si toutes les pierres calcaires augmentent en pesanteur spécifique par une chaleur constamment et long-tems appliquée, je fis six nouvelles épreuves sur deux autres espèces de pierres. Celle dont étoit construit l'intérieur de mon fourneau, et qui a servi aux expériences précédentes, s'appelle dans le pays *pierre à feu*, parce qu'elle résiste plus à l'action du feu que toutes les autres pierres calcaires. Sa substance est composée de petits graviers calcaires liés ensemble par un ciment pierreux qui n'est pas fort dur, et qui laisse quelques interstices vides; sa pesanteur est néanmoins plus grande que celle des autres pierres calcaires d'environ un 20e. En ayant éprouvé plusieurs morceaux au feu de mes chaufferies, il a fallu pour les

calciner, plus du double du tems de celui qu'il falloit pour réduire en chaux les autres pierres : on peut donc être assuré que les expériences précédentes ont été faites sur la pierre calcaire la plus résistante au feu. Les pierres auxquelles je vais la comparer, étoient aussi de très-bonnes pierres calcaires dont on fait la plus belle taille pour les bâtimens : l'une a le grain fin et presque aussi serré que celui du marbre ; l'autre a le grain un peu plus gros, mais toutes deux sont compactes et pleines, toutes deux font de l'excellente chaux grise, plus liante et plus forte que la chaux commune qui est plus blanche.

En pesant dans l'air et dans l'eau trois morceaux chauffés et trois autres non chauffés, de cette première pierre dont le grain étoit le plus fin, j'ai trouvé qu'elle avoit gagné un 56ᵉ en pesanteur spécifique, par l'application constante, pendant cinq mois, d'une chaleur d'environ 90 dégrés, ce que j'ai reconnu, parce qu'elle étoit voisine de celle dont j'avois fait casser les morceaux dans la voûte extérieure du fourneau, et que le soufre ne fondoit plus contre ses parois ; en ayant donc fait enlever trois morceaux encore chauds, pour les peser, et comparer

avec d'autres morceaux de la même pierre, qui étoient restés exposés à l'air libre, j'ai vu que l'un des morceaux avoit augmenté d'un 60e; le second, d'un 62e; le troisième, d'un 56e. Ainsi cette pierre à grain très-fin a augmenté en pesanteur spécifique de près d'un tiers de plus que la pierre à feu chauffée au dégré voisin de celui de la calcination, et aussi d'environ un 7e de plus que cette même pierre à feu, chauffée à 95 dégrés, c'est-à-dire, à une chaleur à peu près égale.

La seconde pierre, dont le grain étoit moins fin, formoit une assise entière de la voûte extérieure du fourneau, et je fus maître de choisir les morceaux dont j'avois besoin pour l'expérience, dans un quartier qui avoit subi, pendant le même tems de cinq mois, le même dégré 95 de chaleur que la pierre à feu; en ayant donc fait casser trois morceaux, et m'étant muni des trois autres, qui n'avoient pas été chauffés, je trouvai que l'un de ces morceaux chauffés avoit augmenté d'un 54e; le second, d'un 63e; et le troisième, d'un 66e; ce qui donne pour la mesure moyenne un 61e d'augmentation, en pesanteur spécifique.

Il résulte de ces expériences, 1°. que toute pierre calcaire chauffée pendant long-tems,

acquiert de la masse et devient plus pesante ; cette augmentation ne peut venir que des particules de chaleur, qui la pénètrent et s'y unissent par leur longue résidence, et qui, dès-lors, en deviennent partie constituante, sous une forme fixe : 2°. que cette augmentation de pesanteur spécifique étant d'un 61ᵉ, ou d'un 56ᵉ, ou d'un 65ᵉ, ne se trouve varier ici que par la nature des différentes pierres; que celles dont le grain est le plus fin, sont celles dont la chaleur augmente le plus la masse, et dans lesquelles les pores étant plus petits, elle se fixe plus aisément et en plus grande quantité : 3°. que la quantité de chaleur qui se fixe dans la pierre est encore bien plus grande que ne le désigne ici l'augmentation de la masse ; car la chaleur, avant de se fixer dans la pierre, a commencé par en chasser toutes les parties humides qu'elle contenoit, on sait qu'en distillant la pierre calcaire dans une cornue bien fermée, on tire de l'eau pure, jusqu'à concurrence d'un seizième de son poids : mais comme une chaleur de 95 dégrés, quoiqu'appliquée pendant cinq mois, pourroit néanmoins produire, à cet égard, de moindres effets que le feu violent qu'on applique au vaisseau dans lequel on distille la pierre,

réduisons de moitié et même des trois quarts cette quantité d'eau enlevée à la pierre, par la chaleur de 95 dégrés, on ne pourra pas disconvenir que la quantité de chaleur qui s'est fixée dans cette pierre, ne soit d'abord d'un 60e indiqué par l'augmentation de la pesanteur spécifique, et encore d'un 64e, pour le quart de la quantité d'eau qu'elle contenoit, et que cette chaleur aura fait sortir; en sorte qu'on peut assurer, sans craindre de se tromper, que la chaleur qui pénètre dans la pierre lui étant appliquée pendant long-tems, s'y fixe en assez grande quantité, pour en augmenter la masse, tout au moins d'un trentième, même dans la supposition qu'elle n'ait chassé, pendant ce long tems, que le quart de l'eau que la pierre contenoit.

CINQUIÈME EXPÉRIENCE.

Toutes les pierres calcaires dont la pesanteur spécifique augmente par la longue application de la chaleur, acquièrent par cette espèce de desséchement plus de dureté qu'elles n'en avoient auparavant. Voulant reconnoître si cette dureté seroit durable, et si elles ne perdroient pas avec le tems, non

seulement cette qualité, mais celle de l'augmentation de densité qu'elles avoient acquise par la chaleur, je fis exposer aux injures de l'air plusieurs parties de trois espèces de pierres, qui avoient servi aux expériences précédentes, et qui toutes avoient été plus ou moins chauffées, pendant cinq mois. Au bout de quinze jours, pendant lesquels il y avoit eu des pluies, je les fis sonder et frapper au marteau par le même ouvrier, qui les avoit trouvées très-dures, quinze jours auparavant; il reconnut avec moi que la pierre à feu, qui étoit la plus poreuse, et dont le grain étoit le plus gros, n'étoit déjà plus aussi dure, et qu'elle se laissoit travailler plus aisément. Mais les deux autres espèces, et surtout celle dont le grain étoit le plus fin, avoient conservé la même dureté, néanmoins elles la perdirent, en moins de six semaines. Et les ayant fait alors éprouver à la balance hydrostatique, je reconnus qu'elles avoient aussi perdu une assez grande quantité de la matière fixe que la chaleur y avoit déposée. Néanmoins, au bout de plusieurs mois, elles étoient toujours spécifiquement plus pesantes d'un 150e, ou d'un 160e, que celles qui n'avoient point été chauffées. La différence devenant alors trop difficile à sai-

sir entre ces morceaux et ceux qui n'avoient pas été chauffés, et qui tous étoient également exposés à l'air, je fus forcé de borner là cette expérience, mais je suis persuadé, qu'avec beaucoup de tems, ces pierres auroient perdu toute leur pesanteur acquise. Il en est de même de la dureté ; après quelques mois d'exposition à l'air, les ouvriers les ont traitées tout aussi aisément que les autres pierres de même espèce, qui n'avoient point été chauffées.

Il résulte de cette expérience, que les particules de chaleur qui se fixent dans la pierre, n'y sont, comme je l'ai dit, unies que par force ; que quoiqu'elle les conserve après son entier refroidissement et pendant assez long-tems, si on la préserve de toute humidité, elle les perd néanmoins peu à peu par les impressions de l'air et de la pluie, sans doute parce que l'air et l'eau ont plus d'affinité avec la pierre que les parties de la chaleur qui s'y étoient logées. Cette chaleur fixe n'est plus active, elle est pour ainsi dire morte, et entièrement passive; dès-lors bien loin de pouvoir chasser l'humidité, celle-ci la chasse à son tour et reprend toutes les places qu'elle lui avoit cédées. Mais dans d'autres matières qui n'ont pas avec l'eau

expériences pesoit exactement 70 livres le pied cube, et le volume d'eau déplacé par celui du morceau de cette fonte, pesoit 72 gros $\frac{1}{2}$: ainsi 72 gros $\frac{1}{2}$, poids du volume de l'eau déplacée par le morceau de fonte, sont à 70 livres, poids du pied cube de l'eau, comme 547 gros, poids du morceau de fonte, sont à 528 livres 2 onces 1 gros 47 grains, poids du pied cube de cette fonte: et ce poids excède beaucoup celui de cette même fonte lorsqu'elle n'a pas été chauffée; c'est une fonte blanche qui communément est très-cassante, et dont le poids n'est que de 495 ou 500 livres, tout au plus; ainsi la pesanteur spécifique se trouve augmentée de 28 sur 500 par cette très-longue application de la chaleur, ce qui fait environ un dix-huitième de la masse; je me suis assuré de cette grande différence par cinq épreuves successives pour lesquelles j'ai eu attention de prendre toujours des morceaux pesans chacun quatre livres au moins, et comparés un à un avec des morceaux de même figure et d'un volume à peu près égal: car quoiqu'il paroisse qu'ici la différence du volume, quelque grande qu'elle soit, ne devroit rien faire, et ne peut influer sur le résultat de l'opération de la balance hydrostatique; cependant

ceux qui sont exercés à la manier se seront apperçus, comme moi, que les résultats sont toujours plus justes lorsque les volumes des matières qu'on compare ne sont pas bien plus grands l'un que l'autre. L'eau, quelque fluide qu'elle nous paroisse, a néanmoins un certain petit dégré de ténacité qui influe plus ou moins sur des volumes plus ou moins grands. D'ailleurs il y a très-peu de matières qui soient parfaitement homogènes ou égales en pesanteur dans toutes les parties extérieures du volume qu'on soumet à l'épreuve; ainsi pour obtenir un résultat sur lequel on puisse compter précisément, il faut toujours comparer des morceaux d'un volume approchant, et d'une figure qui ne soit pas bien différente; car si d'une part on pesoit un globe de fer de deux livres, et d'autre part une feuille de tôle du même poids, on trouveroit à la balance hydrostatique leur pesanteur spécifique différente, quoiqu'elle fût réellement la même.

Je crois que quiconque réfléchira sur les expériences précédentes et sur leurs résultats, ne pourra disconvenir que la chaleur très-long-tems appliquée aux différens corps qu'elle pénètre, ne dépose dans leur inté-

rieur une très-grande quantité de particules qui deviennent parties constituantes de leur masse, et qui s'y unissent et y adhèrent d'autant plus que les matières se trouvent avoir avec elles plus d'affinité et d'autres rapports de nature. Aussi me trouvant muni de ces expériences, je n'ai pas craint d'avancer dans mon Traité des Élémens, que les molécules de la chaleur se fixoient dans tous les corps, comme s'y fixent celles de la lumière et celles de l'air, dès qu'il est accompagné de chaleur ou de feu.

SIXIÈME MÉMOIRE.

Expériences sur la Lumière et sur la Chaleur qu'elle peut produire.

ARTICLE PREMIER.

Invention de Miroirs pour brûler à de grandes distances.

L'HISTOIRE des miroirs ardens d'Archimède, est fameuse; il les inventa pour la défense de sa patrie, et il lança, disent les anciens, le feu du soleil sur la flotte ennemie qu'il réduisit en cendres lorsqu'elle approcha des remparts de Syracuse; mais cette histoire dont on n'a pas douté pendant quinze ou seize siècles, a d'abord été contredite, et ensuite traitée de fable dans ces derniers tems. Descartes, né pour juger et même pour surpasser Archimède, a prononcé contre lui d'un ton de maître; il a nié la possibilité de l'invention, et son opinion a prévalu sur les témoignages et sur la croyance de toute l'antiquité: les physiciens modernes, soit par respect pour leur philosophe, soit par complaisance pour leurs contemporains, ont été

sont polies avec un peu de soin, réfléchissent plus puissamment la lumière que les métaux les mieux polis, et même mieux que le métal composé dont on se sert pour faire des miroirs de télescopes ; et que quoiqu'il y ait dans les glaces deux réflexions, l'une à la surface et l'autre à l'intérieur, elles ne laissent pas de donner une lumière plus vive et plus nette que le métal, qui produit une lumière colorée.

En second lieu, en recevant la lumière du soleil dans un endroit obscur, et en la comparant avec cette même lumière du soleil réfléchie par une glace, je trouvai qu'à de petites distances, comme de quatre ou cinq pieds, elle ne perdoit qu'environ moitié par la réflexion, ce que je jugeai en faisant tomber sur la première lumière réfléchie, une seconde lumière aussi réfléchie : car la vivacité de ces deux lumières réfléchies me parut égale à celle de la lumière directe.

Troisièmement, ayant reçu à de grandes distances, comme à 100, 200 et 300 pieds, cette même lumière réfléchie par de grandes glaces, je reconnus qu'elle ne perdoit presque rien de sa force, par l'épaisseur de l'air qu'elle avoit à traverser.

Ensuite je voulus essayer les mêmes choses

sur la lumière des bougies; et pour m'assurer plus exactement de la quantité d'affoiblissement que la réflexion cause à cette lumière, je fis l'expérience suivante :

Je me mis vis-à-vis une glace de miroir avec un livre à la main, dans une chambre où l'obscurité de la nuit étoit entière, et où je ne pouvois distinguer aucun objet : je fis allumer dans une chambre voisine, à 40 pieds de distance environ, une seule bougie, et je la fis approcher peu à peu, jusqu'à ce que je pusse distinguer les caractères et lire le livre que j'avois à la main; la distance se trouva de 24 pieds du livre à la bougie : ensuite ayant retourné le livre du côté du miroir, je cherchai à lire par cette même lumière réfléchie, et je fis intercepter par un paravent la partie de la lumière directe qui ne tomboit pas sur le miroir, afin de n'avoir sur mon livre que la lumière réfléchie. Il fallut approcher la bougie, ce qu'on fit peu à peu, jusqu'à ce que je pusse lire les mêmes caractères éclairés par la lumière réfléchie; et alors la distance du livre à la bougie, y compris celle du livre au miroir, qui n'étoit que d'un demi-pied, se trouva être en tout de 15 pieds : je répétai cela plusieurs fois, et j'eus toujours les

mêmes résultats, à très-peu près; d'où je conclus que la force ou la quantité de la lumière directe est à celle de la lumière réfléchie, comme 576 à 225; ainsi l'effet de la lumière de cinq bougies reçues par une glace plane, est à peu près égal à celui de la lumière directe de deux bougies.

La lumière des bougies perd donc plus par la réflexion que la lumière du soleil; et cette différence vient de ce que les rayons de lumière qui partent de la bougie comme d'un centre, tombent plus obliquement sur le miroir que les rayons du soleil qui viennent presque parallèlement. Cette expérience confirma donc ce que j'avois trouvé d'abord, et je tins pour sûr que la lumière du soleil ne perd qu'environ moitié par sa réflexion sur une glace de miroir.

Ces premières connoissances dont j'avois besoin étant acquises, je cherchai ensuite ce que deviennent en effet les images du soleil lorsqu'on les reçoit à de grandes distances. Pour bien entendre ce que je vais dire, il ne faut pas, comme on le fait ordinairement, considérer les rayons du soleil comme parallèles; et il faut se souvenir que le corps du soleil occupe à nos yeux une étendue d'environ 32 minutes; que par conséquent les rayons

qui partent du bord supérieur du disque, venant à tomber sur un point d'une surface réfléchissante, les rayons qui partent du bord inférieur, venant à tomber aussi sur le même point de cette surface, ils forment entr'eux un angle de 32 minutes dans l'incidence, et ensuite dans la réflexion, et que par conséquent l'image doit augmenter de grandeur à mesure qu'elle s'éloigne : il faut de plus faire attention à la figure de ces images; par exemple : une glace plane carrée d'un demi-pied, exposée aux rayons du soleil, formera une image carrée de six pouces, lorsqu'on recevra cette image à une petite distance de la glace, comme de quelques pieds ; en s'éloignant peu à peu on voit l'image augmenter, ensuite se déformer, enfin s'arrondir et demeurer ronde toujours en s'agrandissant, à mesure qu'elle s'éloigne du miroir : cette image est composée d'autant de disques du soleil qu'il y a de points physiques dans la surface réfléchissante; le point du milieu forme une image du disque, les points voisins en forment de semblables et de même grandeur qui excèdent un peu le disque du milieu; il en est de même de tous les autres points, et l'image est composée d'une infinité de disques, qui se sur-

montant régulièrement, et anticipant circulairement les uns sur les autres, forment l'image réfléchie dont le point du milieu de la glace est le centre.

Si l'on reçoit l'image composée de tous ces disques à une petite distance, alors l'étendue qu'ils occupent n'étant qu'un peu plus grande que celle de la glace, cette image est de la même figure et à peu près de la même étendue que la glace : si la glace est carrée, l'image est carrée ; si la glace est triangulaire, l'image est triangulaire ; mais lorsqu'on reçoit l'image à une grande distance de la glace, où l'étendue qu'occupent les disques est beaucoup plus grande que celle de la glace, l'image ne conserve plus la figure carrée ou triangulaire de la glace, elle devient nécessairement circulaire ; et pour trouver le point de distance où l'image perd sa figure carrée, il n'y a qu'à chercher à quelle distance la glace nous paroît sous un angle égal à celui que forme le corps du soleil à nos yeux, c'est-à-dire, sous un angle de 32 minutes, cette distance sera celle où l'image perdra sa figure carrée, et deviendra ronde ; car les disques ayant toujours pour diamètre une ligne égale à la corde de l'arc de cercle qui mesure un angle de 32 minutes, on

trouvera par cette [illegible] car[illegible] rée de six pouces . [illegible] à la distance [illegible] glace d'un pied en [illegible] pieds environ . [illegible]

En réfléchissant un peu sur cette [illegible] . on ne sera plus [illegible] grandes distances . [illegible] glace donnent à [illegible] même grandeur . [illegible] l'intensité de la [illegible] surpris qu'une glace [illegible] longue , on [illegible] figure que l'on [illegible] des images rondes [illegible] que les images ne s'agrandissent [illegible] affoiblissent pas par la [illegible] ou par la perte qu'elle fait [illegible] comme l'ont cru quelques [illegible] que cela n'arrive au contraire que par l'augmentation des [illegible] une espace de [illegible] ment qu'on les porte.

---

(1) C'est par cette même raison que les petites images du soleil qui passent entre les feuilles des arbres élevés et touffus , qui tombent sur le sable [illegible] sont toutes ovales ou rondes.

De même on sera convaincu par la simple exposition de cette théorie, que les courbes, de quelque espèce qu'elles soient, ne peuvent être employées avec avantage pour brûler de loin, parce que le diamètre du foyer de toutes les courbes ne peut jamais être plus petit que la corde de l'arc qui mesure un angle de 32 minutes, et que par conséquent le miroir concave le plus parfait, dont le diamètre seroit égal à cette corde, ne feroit jamais le double de l'effet de ce miroir plan de même surface (1) : et si le diamètre de ce miroir courbe étoit plus petit que cette corde, il ne feroit guère plus d'effet qu'un miroir plan de même surface.

Lorsque j'eus bien compris ce que je viens d'exposer, je me persuadai bientôt, à n'en pouvoir douter, qu'Archimède n'avoit pu brûler de loin qu'avec des miroirs plans; car indépendamment de l'impossibilité où l'on étoit alors, et où l'on seroit encore aujourd'hui, d'exécuter des miroirs concaves d'un

---

(1) Si l'on se donne la peine de le supputer, on trouvera que le miroir courbe le plus parfait, n'a d'avantage sur un miroir plan, que dans la raison de 17 à 10, du moins à très-peu près.

aussi long foyer, je sentis bien que les réflexions que je viens de faire, ne pouvoient pas avoir échappé à ce grand mathématicien. D'ailleurs je pensai que selon toutes les apparences les anciens ne savoient pas faire de grandes masses de verre, qu'ils ignoroient l'art de le couler pour en faire de grandes glaces, qu'ils n'avoient tout au plus que celui de le souffler et d'en faire des bouteilles et des vases, et je me persuadai aisément que c'étoit avec des miroirs plans de métal poli, et par la réflexion des rayons du soleil qu'Archimède avoit brûlé au loin; mais comme j'avois reconnu que les miroirs de glace réfléchissent plus puissamment la lumière que les miroirs du métal le plus poli, je pensai à faire construire une machine pour faire coïncider au même point les images réfléchies par un grand nombre de ces glaces planes, bien convaincu que ce moyen étoit le seul par lequel il fût possible de réussir.

Cependant j'avois encore des doutes, et qui me paroissoient même très-bien fondés, car voici comment je raisonnois. Supposons que la distance à laquelle je veux brûler soit de 240 pieds, je vois clairement que le foyer de mon miroir ne peut avoir moins de deux pieds de diamètre à cette distance;

dès-lors quelle sera l'étendue que je serai obligé de donner à mon assemblage de miroirs plans pour produire du feu dans un aussi grand foyer? Elle pouvoit être si grande que la chose eût été impraticable dans l'exécution ; car en comparant le diamètre du foyer au diamètre du miroir, dans les meilleurs miroirs par réflexion que nous ayons, par exemple, avec le miroir de l'académie, j'avois observé que le diamètre de ce miroir qui est de trois pieds, étoit 108 fois plus grand que le diamètre de son foyer, qui n'a qu'environ quatre lignes, et j'en concluois que pour brûler aussi vivement à 240 pieds, il eût été nécessaire que mon assemblage de miroirs eût eu 216 pieds de diamètre, puisque le foyer auroit deux pieds ; or un miroir de 216 pieds de diamètre étoit assurément une chose impossible.

A la vérité, ce miroir de trois pieds de diamètre brûle assez vivement pour fondre l'or, et je voulus voir combien j'avois à gagner en réduisant son action à n'enflammer que du bois : pour cela j'appliquai sur le miroir des zones circulaires de papier pour en diminuer le diamètre, et je trouvai qu'il n'avoit plus assez de force pour en-

flammer du bois sec lorsque son diamètre fut réduit à quatre pouces huit ou neuf lignes : prenant donc cinq pouces ou soixante lignes pour l'étendue du diamètre nécessaire pour brûler avec un foyer de quatre lignes, je ne pouvois me dispenser de conclure que pour brûler également à 240 pieds, où le foyer auroit nécessairement deux pieds de diamètre, il me faudroit un miroir de trente pieds de diamètre; ce qui me paroissoit encore une chose impossible, ou du moins impraticable.

A des raisons si positives, et que d'autres auroient regardées comme des démonstrations de l'impossibilité du miroir, je n'avois rien à opposer qu'un soupçon ; mais un soupçon ancien, et sur lequel plus j'avois réfléchi, plus je m'étois persuadé qu'il n'étoit pas sans fondement ; c'est que les effets de la chaleur pouvoient bien n'être pas proportionnels à la quantité de lumière; ou, ce qui revient au même, qu'à égale intensité de lumière, les grands foyers devoient brûler plus vivement que les petits.

En estimant la chaleur mathématiquement, il n'est pas douteux que la force des foyers de même longueur ne soit propor-

tionnelle à la surface des miroirs. Un miroir dont la surface est double de celle d'un autre, doit avoir un foyer de la même grandeur, si la courbure est la même ; et ce foyer de même grandeur doit contenir le double de la quantité de lumière que contient le premier foyer ; et dans la supposition que les effets sont toujours proportionnels à leurs causes, on avoit toujours cru que la chaleur de ce second foyer devoit être double de celle du premier.

De même et par la même estimation mathématique, on a toujours cru qu'à égale intensité de lumière, un petit foyer devoit brûler autant qu'un grand, et que l'effet de la chaleur devoit être proportionnel à cette intensité de lumière : *en sorte*, disoit Descartes, *qu'on peut faire des verres ou des miroirs extrêmement petits qui brûleront avec autant de violence que les plus grands.* Je pensai d'abord, comme je l'ai dit ci-dessus, que cette conclusion tirée de la théorie mathématique, pourroit bien se trouver fausse dans la pratique, parce que la chaleur étant une qualité physique, de l'action et de la propagation de laquelle nous ne connoissons pas bien les lois, il me sembloit qu'il y avoit quelque espèce de témérité à en

estimer ainsi les effets par un raisonnement de simple spéculation.

J'eus donc recours encore une fois à l'expérience : je pris des miroirs de métal de différens foyers et de différens dégrés de poliment; et en comparant l'action des différens foyers sur les mêmes matières fusibles ou combustibles, je trouvai qu'à égale intensité de lumière, les grands foyers font constamment beaucoup plus d'effet que les petits, et produisent souvent l'inflammation ou la fusion, tandis que les petits ne produisent qu'une chaleur médiocre; je trouvai la même chose avec les miroirs par réfraction. Pour le faire mieux sentir, prenons, par exemple, un grand miroir ardent par réfraction, tel que celui du sieur Segard, qui a 32 pouces de diamètre, et un foyer de huit lignes de largeur, à six pieds de distance, auquel foyer le cuivre se fond en moins d'une minute, et faisons dans les mêmes proportions un petit verre ardent de 32 lignes de diamètre, dont le foyer sera de $\frac{8}{12}$ ou $\frac{2}{3}$ de ligne, et la distance à six pouces; puisque le grand miroir fond le cuivre en une minute dans l'étendue entière de son foyer qui est de huit lignes, le petit verre devroit, selon la théorie, fondre dans

le même tems la même matière dans l'étendue de son foyer qui est de $\frac{2}{5}$ de ligne. Ayant fait l'expérience, j'ai trouvé, comme je m'y attendois bien, que loin de fondre le cuivre, ce petit verre ardent pouvoit à peine donner un peu de chaleur à cette matière.

La raison de cette différence est aisée à donner, si l'on fait attention que la chaleur se communique de proche en proche, et se disperse, pour ainsi dire, lors même qu'elle est appliquée continuellement sur le même point; par exemple, si l'on fait tomber le foyer d'un verre ardent sur le centre d'un écu, et que ce foyer n'ait qu'une ligne de diamètre, la chaleur qu'il produit sur le centre de l'écu se disperse et s'étend dans le volume entier de l'écu, et il devient chaud jusqu'à la circonférence; dès-lors toute la chaleur, quoiqu'employée d'abord contre le centre de l'écu, ne s'y arrête pas, et ne peut pas produire un aussi grand effet que si elle y demeuroit toute entière. Mais si au lieu d'un foyer d'une ligne qui tombe sur le milieu de l'écu, on fait tomber sur l'écu tout entier un foyer d'égale intensité, toutes les parties de l'écu étant également échauffées dans ce dernier cas, non seule-

ment il n'y a pas de perte de chaleur, comme dans le premier, mais même il y a du gain et de l'augmentation de chaleur, car le point du milieu profitant de la chaleur des autres points qui l'environnent, l'écu sera fondu dans ce dernier cas, tandis que dans le premier, il ne sera que légèrement échauffé.

Après avoir fait ces expériences et ces réflexions, je sentis augmenter prodigieusement l'espérance que j'avois de réussir à faire des miroirs qui brûleroient au loin; car je commençai à ne plus craindre autant que je l'avois craint d'abord, la grande étendue des foyers, je me persuadai au contraire, qu'un foyer d'une largeur considérable, comme de deux pieds, et dans lequel l'intensité de la lumière ne seroit pas, à beaucoup près, aussi grande que dans un petit foyer, comme de quatre lignes, pourroit cependant produire avec plus de force l'inflammation et l'embrâsement, et que par conséquent ce miroir qui, par la théorie mathématique, devoit avoir au moins 30 pieds de diamètre, se réduiroit sans doute à un miroir de 8 ou 10 pieds tout au plus, ce qui est non seulement une chose possible, mais même très-praticable.

Je pensai donc sérieusement à exécuter mon projet ; d'abord, j'avois dessein de brûler à 200 ou 300 pieds, avec des glaces circulaires ou hexagones, d'un pied carré de surface, et je voulois faire quatre châssis de fer pour les porter, avec trois vis à chacune, pour les mouvoir en tout sens, et un ressort pour les assujettir ; mais la dépense trop considérable qu'exigeoit cet ajustement, me fit abandonner cette idée, et je me rabattis à des glaces communes de 6 pouces sur 8 pouces, et un ajustement en bois, qui, à la vérité, est moins solide et moins précis, mais dont la dépense convenoit mieux à une tentative. M. Passemant, dont l'habileté dans les mécaniques est connue, même de l'académie, se chargea de ce détail, et je n'en ferai pas la description, parce qu'un coup d'œil sur le miroir en fera mieux entendre la construction qu'un long discours (1).

Il suffira de dire qu'il a d'abord été composé de 168 glaces étamées, de 6 pouces sur 8 pouces chacune, éloignées les unes des autres, d'environ quatre lignes ; que chacune de ces glaces se peut mouvoir en tout

(1) Voyez ci-après les planches VII, VIII et IX avec l'explication des figures 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7.

sens, et indépendamment de toutes, et que les quatre lignes d'intervalle qui sont entre elles servent non seulement à la liberté de ce mouvement, mais aussi à laisser voir à celui qui opère, l'endroit où il faut conduire ses images. Au moyen de cette construction, l'on peut faire tomber sur le même point les 168 images, et par conséquent brûler à plusieurs distances, comme à 20, 30, et jusqu'à 150 pieds, et à toutes les distances intermédiaires; et en augmentant la grandeur du miroir, ou en faisant d'autres miroirs semblables au premier, on est sûr de porter le feu à de plus grandes distances encore, ou d'en augmenter, autant qu'on voudra, la force ou l'activité à ces premières distances.

Seulement il faut observer que le mouvement dont j'ai parlé n'est point trop aisé à exécuter, et que, d'ailleurs, il y a un grand choix à faire dans les glaces : elles ne sont pas toutes, à beaucoup près, également bonnes, quoiqu'elles paroissent telles à la première inspection ; j'ai été obligé d'en prendre plus de cinq cents, pour avoir les cent soixante-huit dont je me suis servi ; la manière de les essayer est de recevoir à une grande distance, par exemple, à 150 pieds, l'image réfléchie du soleil, comme un plan

vertical ; il faut choisir celles qui donnent une image ronde et bien terminée, et rebuter toutes les autres, qui sont en beaucoup plus grand nombre, et dont les épaisseurs étant inégales en différens endroits, ou la surface un peu concave ou convexe, au lieu d'être plane, donnent des images mal terminées, doubles, triples, oblongues, chevelues, etc., suivant les différentes défectuosités qui se trouvent dans les glaces.

Par la première expérience que j'ai faite, le 23 mars 1747 à midi, j'ai mis le feu, à 66 pieds de distance à une planche de hêtre goudronnée, avec quarante glaces seulement, c'est-à-dire, avec le quart du miroir environ ; mais il faut observer que n'étant pas encore monté sur son pied, il étoit posé très-désavantageusement, faisant avec le soleil un angle de près de 20 dégrés de déclinaison, et un autre de plus de 10 dégrés d'inclinaison.

Le même jour, j'ai mis le feu à une planche goudronnée et soufrée à 126 pieds de distance, avec quatre-vingt-dix-huit glaces, le miroir étant posé encore plus désavantageusement. On sent bien que pour brûler avec le plus d'avantage, il faut que le miroir soit directement opposé au soleil, aussi bien que

les

les matières qu'on veut enflammer; en sorte qu'en supposant un plan perpendiculaire sur le plan du miroir, il faut qu'il passe par le soleil, et en même tems par le milieu des matières combustibles.

Le 3 avril, à quatre heures du soir, le miroir étant monté et posé sur son pied, on a produit une légère inflammation sur une planche couverte de laine hachée, à 138 pieds de distance, avec cent douze glaces, quoique le soleil fût foible, et que la lumière en fût fort pâle. Il faut prendre garde à soi, lorsqu'on approche de l'endroit où sont les matières combustibles, et il ne faut pas regarder le miroir, car si, malheureusement, les yeux se trouvoient au foyer, on seroit aveuglé par l'éclat de la lumière.

Le 4 avril, à onze heures du matin, le soleil étant fort pâle, et couvert de vapeurs et de nuages légers, on n'a pas laissé de produire, avec cent cinquante-quatre glaces, à 150 pieds de distance, une chaleur si considérable, qu'elle a fait, en moins de deux minutes, fumer une planche goudronnée, qui se seroit certainement enflammée, si le soleil n'avoit pas disparu tout-à-coup.

Le lendemain, 5 avril, à trois heures après midi, par un soleil encore plus foible

que le jour précédent, on a enflammé, à 150 pieds de distance, des copeaux de sapin soufrés et mêlés de charbon, en moins d'une minute et demie, avec cent cinquante-quatre glaces. Lorsque le soleil est vif, il ne faut que quelques secondes pour produire l'inflammation.

Le 10 avril, après midi, par un soleil assez net, on a mis le feu à une planche de sapin goudronnée, à 150 pieds, avec cent vingt-huit glaces seulement ; l'inflammation a été très-subite, et elle s'est faite dans toute l'étendue du foyer, qui avoit environ 16 pouces de diamètre à cette distance.

Le même jour, à deux heures et demie, on a porté le feu sur une planche de hêtre, goudronnée en partie et couverte en quelques endroits de laine hachée ; l'inflammation s'est faite très-promptement, elle a commencé par les parties du bois qui étoient découvertes, et le feu étoit si violent, qu'il a fallu tremper dans l'eau la planche, pour l'éteindre ; il y avoit cent quarante-huit glaces, et la distance étoit de 150 pieds.

Le 11 avril, le foyer n'étant qu'à 20 pieds de distance du miroir, il n'a fallu que douze glaces pour enflammer des petites matières combustibles : avec vingt-une glaces on a

mis le feu à une planche de hêtre qui avoit déjà été brûlée en partie : avec quarante-cinq glaces on a fondu un gros flacon d'étain, qui pesoit environ six livres ; et avec cent dix-sept glaces, on a fondu des morceaux d'argent mince, et rougi une plaque de tôle : et je suis persuadé qu'à 50 pieds on fondra les métaux aussi bien qu'à 20, en employant toutes les glaces du miroir ; et comme le foyer, à cette distance, est large de six à sept pouces, on pourra faire des épreuves en grand sur les métaux (1), ce qu'il n'étoit pas possible de faire avec les miroirs ordinaires, dont le foyer est ou très-foible, ou cent fois plus petit que

---

(1) Par des expériences subséquentes, j'ai reconnu que la distance la plus avantageuse pour faire commodément, avec ces miroirs, des épreuves sur les métaux, étoit à 40 ou 45 pieds. Les assiettes d'argent que j'ai fondues à cette distance avec 224 glaces, étoient bien nettes, en sorte qu'il n'étoit pas possible d'attribuer la fumée très-abondante qui en sortoit, à la graisse, ou à d'autres matières dont l'argent se seroit imbibé, et comme se le persuadoient les gens témoins de l'expérience. Je la répétai néanmoins sur des plaques d'argent toutes neuves, et j'eus le même effet. Le métal fumoit très-abondamment, quelquefois pendant plus de 8 ou 10 minutes avant

celui de mon miroir. J'ai remarqué que les métaux et sur-tout l'argent, fument beaucoup avant de se fondre, la fumée en étoit si sensible qu'elle faisoit ombre sur le terrain; et c'est-là où je l'observai attentivement; car il n'est pas possible de regarder un instant le foyer, lorsqu'il tombe sur du métal: l'éclat en est beaucoup plus vif que celui du soleil.

Les expériences que j'ai rapportées ci-dessus, et qui ont été faites dans les premiers tems de l'invention de ces miroirs, ont été suivies d'un grand nombre d'autres expériences qui confirment les premières. J'ai enflammé du bois jusqu'à 200 et même

---

de se fondre. J'avois dessein de recueillir cette fumée d'argent, par le moyen d'un chapiteau et d'un ajustement semblable à celui dont on se sert dans les distillations, et j'ai toujours eu regret que mes autres occupations m'en aient empêché; car cette manière de tirer l'eau du métal, est peut-être la seule que l'on puisse employer. Et si l'on prétend que cette fumée, qui m'a paru humide, ne contient pas de l'eau, il seroit toujours très-utile de savoir ce que c'est, car il se peut aussi que ce ne soit que du métal volatilisé. D'ailleurs, je suis persuadé qu'en faisant les mêmes épreuves sur l'or, on le verra fumer comme l'argent, peut-être moins, peut-être plus.

210 pieds avec ce même miroir, par le soleil d'été, toutes les fois que le ciel étoit pur, et je crois pouvoir assurer qu'avec quatre semblables miroirs on brûleroit à 400 pieds et peut-être plus loin. J'ai de même fondu tous les métaux et minéraux métalliques à 25, 30 et 40 pieds. On trouvera dans la suite de cet article les usages auxquels on peut appliquer ces miroirs, et les limites qu'on doit assigner à leur puissance pour la calcination, la combustion, la fusion, etc.

Il faut environ une demi-heure pour monter le miroir et pour faire coïncider toutes les images au même point; mais lorsqu'il est un fois ajusté, on peut s'en servir à toute heure, en tirant seulement un rideau; il mettra le feu aux matières combustibles, très-promptement, et on ne doit pas le déranger, à moins qu'on ne veuille changer la distance; par exemple, lorsqu'il est arrangé pour brûler à 100 pieds, il faut une demi-heure pour l'ajuster à la distance de 150 pieds, et ainsi des autres.

Ce miroir brûle en haut, en bas et horizontalement, suivant la différente inclinaison qu'on lui donne; les expériences que je viens de rapporter ont été faites publi-

quement au Jardin du roi, sur un terrain horizontal, contre des planches posées verticalement : je crois qu'il n'est pas nécessaire d'avertir qu'il auroit brûlé avec plus de force en haut, et moins de force en bas ; et de même, qu'il est plus avantageux d'incliner le plan des matières combustibles parallèlement au plan du miroir : ce qui fait qu'il a cet avantage de brûler en haut, en bas et horizontalement, sur les miroirs ordinaires de réflexion qui ne brûlent qu'en haut, c'est que son foyer est fort éloigné, et qu'il a si peu de courbure qu'elle est insensible à l'œil ; il est large de 7 pieds et haut de 8 pieds, ce qui ne fait qu'environ la 150ᵉ partie de la circonférence de la sphère, lorsqu'on brûle à 150 pieds.

La raison qui m'a déterminé à préférer des glaces de 6 pouces de largeur sur 8 pouces de hauteur, à des glaces carrées de 6 ou 8 pouces, c'est qu'il est beaucoup plus commode de faire les expériences sur un terrain horizontal et de niveau, que de les faire de bas en haut, et qu'avec cette figure plus haute que large, les images étoient plus rondes, au lieu qu'avec des glaces carrées, elles auroient été raccourcies, sur-tout pour les petites distances, dans cette situation horizontale.

Cette découverte nous fournit plusieurs choses utiles pour la physique, et peut-être pour les arts. On sait que ce qui rend les miroirs ordinaires de réflexion presque inutiles pour les expériences, c'est qu'ils brûlent toujours en haut, et qu'on est fort embarrassé de trouver des moyens pour suspendre ou soutenir à leur foyer les matières qu'on veut fondre ou calciner : au moyen de mon miroir, on fera brûler en bas les miroirs concaves, et avec un avantage si considérable, qu'on aura une chaleur de tel dégré qu'on voudra; par exemple, en opposant à mon miroir, un miroir concave d'un pied carré de surface, la chaleur que ce dernier miroir produira à son foyer, en employant cent cinquante-quatre glaces seulement, sera plus de douze fois plus grande que celle qu'il produit ordinairement, et l'effet sera le même que s'il existoit douze soleils au lieu d'un, ou plutôt que si le soleil avoit douze fois plus de chaleur.

Secondement, on aura par le moyen de mon miroir la vraie échelle de l'augmentation de la chaleur, et on fera un thermomètre réel, dont les divisions n'auront plus rien d'arbitraire, depuis la température de

l'air jusqu'à tel dégré de chaleur qu'on voudra, en faisant tomber une à une successivement, les images du soleil les unes sur les autres, et en graduant les intervalles, soit au moyen d'une liqueur expansive, soit au moyen d'une machine de dilatation; et de-là nous saurons en effet ce que c'est qu'une augmentation double, triple, quadruple, etc. de chaleur (1), et nous connoîtrons les matières dont l'expansion, ou les autres effets seront les plus convenables pour mesurer les augmentations de chaleur.

Troisièmement, nous saurons au juste combien de fois il faut la chaleur du soleil pour brûler, fondre ou calciner différentes matières, ce qu'on ne savoit estimer jusqu'ici que d'une manière vague et fort éloignée de la vérité; et nous serons en état de faire des comparaisons précises de l'acti-

(1) Feu M. de Mairan a fait une épreuve avec trois glaces seulement, et a trouvé que les augmentations du double et du triple de chaleur étoient comme les divisions du thermomètre de Réaumur; mais on ne doit rien conclure de cette expérience, qui n'a donné lieu à ce résultat que par une espèce de hasard. (*Voyez sur ce sujet ce que j'ai dit dans mon* Traité des Elémens.)

vité de nos feux avec celle du soleil, et d'avoir sur cela des rapports exacts, et des mesures fixes et invariables.

Enfin, on sera convaincu lorsqu'on aura examiné la théorie que j'ai donnée, et qu'on aura vu l'effet de mon miroir, que le moyen que j'ai employé étoit le seul par lequel il fût possible de réussir à brûler au loin : car indépendamment de la difficulté physique de faire de grands miroirs concaves sphériques, paraboliques, ou d'une autre courbure quelconque assez régulière pour brûler à 150 pieds, on se démontrera aisément à soi-même qu'ils ne produiroient qu'à peu près autant d'effet que le mien, parce que le foyer en seroit presqu'aussi large; que de plus, ces miroirs courbes, quand même il seroit possible de les exécuter, auroient le désavantage très-grand de ne brûler qu'à une seule distance, au lieu que le mien brûle à toutes les distances; et par conséquent on abandonnera le projet de faire, par le moyen des courbes, des miroirs pour brûler au loin, ce qui a occupé inutilement un grand nombre de mathématiciens et d'artistes qui se trompoient toujours, parce qu'ils considéroient les rayons du soleil comme parallèles, au lieu qu'il faut les considérer ici tels qu'ils

sont, c'est-à-dire, comme faisant des angles de toute grandeur, depuis zéro jusquà 32 minutes, ce qui fait qu'il est impossible, quelque courbure qu'on donne à un miroir, de rendre le diamètre du foyer plus petit que la corde de l'arc qui mesure cet angle de 32 minutes. Ainsi, quand même on pourroit faire un miroir concave pour brûler à une grande distance, par exemple, à 150 pieds, en le travaillant dans tous ses points sur une sphère de 600 pieds de diamètre, et en employant une masse énorme de verre ou de métal, il est clair qu'on aura à peu près autant d'avantage à n'employer au contraire que de petits miroirs plans.

Au reste, comme tout a des limites, quoique mon miroir soit susceptible d'une plus grande perfection, tant pour l'ajustement que pour plusieurs autres choses, et que je compte bien en faire un autre dont les effets seront supérieurs, cependant il ne faut pas espérer qu'on puisse jamais brûler à de très-grandes distances; car pour brûler, par exemple, à une demi-lieue, il faudroit un miroir deux mille fois plus grand que le mien; et tout ce qu'on pourra jamais faire, est de brûler à huit ou neuf cents pieds tout au plus. Le foyer dont le mouvement cor-

respond toujours à celui du soleil, marche d'autant plus vîte qu'il est plus éloigné du miroir, et à 900 pieds de distance, il feroit un chemin d'environ six pieds par minute.

Il n'est pas nécessaire d'avertir qu'on peut faire, avec des petits morceaux plats de glace ou de métal, des miroirs dont les foyers seront variables, et qui brûleront à de petites distances avec une grande vivacité ; et en les montant à peu près comme l'on monte les parasols, il ne faudroit qu'un seul mouvement pour en ajuster le foyer.

Maintenant que j'ai rendu compte de ma découverte et du succès de mes expériences, je dois rendre à Archimede et aux anciens, la gloire qui leur est due. Il est certain qu'Archimède a pu faire avec des miroirs de métal ce que je fais avec des miroirs de verre ; il est sûr qu'il avoit plus de lumières qu'il n'en faut pour imaginer la théorie qui m'a guidé et la mécanique que j'ai fait exécuter, et que par conséquent on ne peut lui refuser le titre de premier inventeur de ces miroirs, que l'occasion où il sut les employer rendit sans doute plus célèbres que le mérite de la chose même.

Pendant le tems que je travaillois à ces miroirs, j'ignorois le détail de tout ce qu'en

ont dit les anciens ; mais après avoir réussi à les faire, je fus bien aise de m'en instruire. Feu M. Melot, de l'académie des belles-lettres, et l'un des gardes de la bibliothèque du roi, dont la grande érudition et les talens étoient connus de tous les savans, eut la bonté de me communiquer une excellente dissertation qu'il avoit faite sur ce sujet, dans laquelle il rapporte les témoignages de tous les auteurs qui ont parlé des miroirs ardens d'Archimède ; ceux qui en parlent le plus clairement, sont Zonaras et Tzetzès, qui vivoient tous deux dans le XIIe. siècle : le premier dit, qu'Archimède avec ses miroirs ardens, mit en cendres toute la flotte des romains : *ce géomètre*, dit-il, *ayant reçu les rayons du soleil sur un miroir, à l'aide de ces rayons rassemblés et réfléchis par l'épaisseur et le poli du miroir, il embrâsa l'air, et alluma une grande flamme qu'il lança toute entière sur les vaisseaux qui mouilloient dans la sphère de son activité, et qui furent tous réduits en cendres.* Le même Zonaras rapporte aussi qu'au siége de Constantinople, sous l'empire d'Anastase, l'an 514 de Jésus-Christ, Proclus brûla avec des miroirs d'airain, la flotte de Vitalien qui assiégeoit Constantinople, et il ajoute que

ces miroirs étoient une découverte ancienne, et que l'historien Dion en donne l'honneur à Archimède qui la fit, et s'en servit contre les Romains, lorsque Marcellus fit le siége de Syracuse.

Tzetzès non seulement rapporte et assure le fait des miroirs, mais même il en explique en quelque façon la construction. *Lorsque les vaisseaux romains*, dit-il, *furent à la portée du trait, Archimède fit faire une espèce de miroir hexagone, et d'autres plus petits de 24 angles chacun, qu'il plaça dans une distance proportionnée, et qu'on pouvoit mouvoir à l'aide de leurs charnières et de certaines lames de métal; il plaça le miroir hexagone de façon qu'il étoit coupé par le milieu par le méridien d'hiver et d'été, en sorte que les rayons du soleil reçus sur ce miroir, venant à se briser, allumèrent un grand feu, qui réduisit en cendres les vaisseaux romains, quoiqu'ils fussent éloignés de la portée d'un trait.*

Ce passage me paroît assez clair; il fixe la distance à laquelle Archimède a brûlé, la portée du trait ne peut guère être que de 150 ou 200 pieds; il donne l'idée de la construction, et fait voir que le miroir d'Archimède pouvoit être comme le mien, com-

cave et sur ce projet, auroit porté M. du Fay à la découverte du miroir d'Archimède, qu'il traite cependant de fable un peu plus haut; car il me paroît qu'il étoit tout naturel de conclure de son expérience, que puisqu'un miroir concave de 17 pouces de diamètre sur lequel l'image du soleil ne tomboit pas toute entière, à beaucoup près, peut cependant brûler par cette seule partie de l'image du soleil réfléchie à 600 pieds, dans un foyer que je suppose large de 3 lignes; onze cents cinquante six miroirs plans semblables au premier miroir réfléchissant, doivent à plus forte raison brûler directement à cette distance de 600 pieds, et que par conséquent deux cents quatre-vingt-neuf miroirs plans auroient été plus que suffisans pour brûler à 300 pieds, en réunissant les deux cents quatre-vingt-neuf images : mais en fait de découverte, le dernier pas, quoique souvent le plus facile, est cependant celui qu'on fait le plus rarement.

Mon mémoire, tel qu'on vient de le lire, a été imprimé dans le volume de l'académie des sciences, *année 1747*, sous le titre : *Invention des miroirs pour brûler à une grande distance.* Feu M. Bouguer, et quelques autres membres de cette savante compagnie, m'ayant

m'ayant fait plusieurs objections, tirées principalement de la doctrine de Descartes, dans son Traité de Dioptrique, je crus devoir y répondre par le mémoire suivant, qui fut lu à l'académie la même année, mais que je ne fis pas imprimer par ménagement pour mes adversaires en opinion. Cependant comme il contient plusieurs choses utiles, et qu'il pourra servir de préservatif contre les erreurs contenues dans quelques livres d'optique, sur-tout dans celui de la Dioptrique de Descartes, que d'ailleurs il sert d'explication et de suite au mémoire précédent, j'ai jugé à propos de les joindre ici et de les publier ensemble.

ARTICLE SECOND.

Réflexions sur le jugement de Descartes, au sujet des miroirs d'Archimède, avec le développement de la théorie de ces miroirs et l'explication de leurs principaux usages.

La Dioptrique de Descartes, cet ouvrage qu'il a donné comme le premier et le principal essai de sa méthode de raisonner dans les sciences, doit être regardée comme un chef-d'œuvre pour son tems; mais les plus

belles spéculations sont souvent démenties par l'expérience, et tous les jours les sublimes mathématiques sont obligées de se plier sous de nouveaux faits ; car dans l'application qu'on en fait aux plus petites parties de la physique, on doit se défier de toutes les circonstances, et ne pas se confier assez aux choses qu'on croit savoir pour prononcer affirmativement sur celles qui sont inconnues. Ce défaut n'est cependant que trop ordinaire, et j'ai cru que je ferois quelque chose d'utile pour ceux qui veulent s'occuper d'optique, que de leur exposer ce qui manquoit à Descartes, pour pouvoir donner une théorie de cette science qui fût susceptible d'être réduite en pratique.

Son Traité de Dioptrique est divisé en dix discours : dans le premier, notre philosophe parle de la lumière; et comme il ignoroit son mouvement progressif qui n'a été découvert que quelque tems après par Roëmer, il faut modifier tout ce qu'il dit à cet égard, et on ne doit adopter aucune des explications qu'il donne au sujet de la nature et de la propagation de la lumière, non plus que les comparaisons et les hypothèses qu'il emploie pour tâcher d'expliquer les causes et les effets de la vision. On sait

actuellement que la lumière est environ 7 minutes $\frac{1}{2}$ à venir du soleil jusqu'à nous, que cette émission du corps lumineux se renouvelle à chaque instant, et que ce n'est pas par la pression continue et par l'action, ou plutôt l'ébranlement instantané d'une matière subtile que ses effets s'opèrent; ainsi toutes les parties de ce traité, où l'auteur emploie cette théorie, sont plus que suspectes, et les conséquences ne peuvent être qu'erronnées.

Il en est de même de l'explication que Descartes donne de la réfraction; non seulement sa théorie est hypothétique pour la cause, mais la pratique est contraire dans tous les effets. Les mouvemens d'une balle qui traverse l'eau, sont très-différens de ceux de la lumière qui traverse le même milieu, et s'il eût comparé ce qui arrive en effet à une balle, avec ce qui arrive à la lumière, il en auroit tiré des conséquences tout à fait opposées à celles qu'il a tirées.

Et pour ne pas omettre une chose très-essentielle, et qui pourroit induire en erreur, il faut bien se garder, en lisant cet article, de croire avec notre philosophe, que le mouvement rectiligne peut se changer naturellement en un mouvement circu-

laire; cette assertion est fausse, et le contraire est démontré depuis que l'on connoît les lois du mouvement.

Comme le second discours roule en grande partie sur cette théorie hypothétique de la réfraction, je me dispenserai de parler en détail des erreurs qui en sont les conséquences, un lecteur averti ne peut manquer de les remarquer.

Dans les troisième, quatrième et cinquième discours, il est question de la vision, et l'explication que Descartes donne au sujet des images qui se forment au fond de l'œil, est assez juste; mais ce qu'il dit sur les couleurs ne peut pas se soutenir ni même s'entendre : car comment concevoir qu'une certaine proportion entre le mouvement rectiligne et un prétendu mouvement circulaire, puisse produire des couleurs ? Cette partie a été, comme l'on sait, traitée à fond et d'une manière démonstrative par Newton, et l'expérience a fait voir l'insuffisance de tous les systêmes précédens.

Je ne dirai rien du sixième discours, où il tâche d'expliquer comment se font nos sensations : quelqu'ingénieuses que soient ses hypothèses, il est aisé de sentir qu'elles sont gratuites; et comme il n'y a presque

rien de mathématique dans cette partie, il est inutile de nous y arrêter.

Dans le septième et le huitième discours, Descartes donne une belle théorie géométrique sur les formes que doivent avoir les verres pour produire les effets qui peuvent servir à la perfection de la vision, et après avoir examiné ce qui arrive aux rayons qui traversent ces verres de différentes formes, il conclut que les verres elliptiques et hyperboliques, sont les meilleurs de tous pour rassembler les rayons; et il finit par donner dans le neuvième discours la manière de construire les lunettes de longue vue, et dans le dixième et dernier discours, celle de tailler les verres.

Cette partie de l'ouvrage de Descartes, qui est proprement la seule partie mathématique de son traité, est plus fondée et beaucoup mieux raisonnée que les précédentes; cependant on n'a point appliqué sa théorie à la pratique, on n'a pas taillé des verres elliptiques ou hyperboliques, et on a oublié ces fameuses ovales qui font le principal objet du second livre de sa géométrie; la différente réfrangibilité des rayons, qui étoit inconnue à Descartes, n'a pas été découverte que cette théorie géométrique a été aban-

donnée : il est en effet démontré qu'il n'y a pas autant à gagner par le choix de ces formes, qu'il y a à perdre par la différente réfrangibilité des rayons, puisque selon leur différent dégré de réfrangibilité, ils se rassemblent plus ou moins près; mais comme l'on est parvenu à faire des lunettes achromatiques, dans lesquelles on compense la différente réfrangibilité des rayons par des verres de différente densité ; il seroit très-utile aujourd'hui de tailler des verres hyperboliques ou elliptiques, si l'on veut donner aux lunettes achromatiques toute la perfection dont elles sont susceptibles.

Après ce que je viens d'exposer, il me semble que l'on ne devroit pas être surpris que Descartes eût mal prononcé au sujet des miroirs d'Archimède, puisqu'il ignoroit un si grand nombre de choses qu'on a découvertes depuis; mais comme c'est ici le point particulier que je veux examiner, il faut rapporter ce qu'il en a dit, afin qu'on soit plus en état d'en juger.

« Vous pouvez aussi remarquer par occasion, que les rayons du soleil ramassés par le verre elliptique, doivent brûler avec plus de force qu'étant rassemblés par l'hyperbolique; car il ne faut pas seulement prendre

garde aux rayons qui viennent du centre du soleil, mais aussi à tous les autres qui venant des autres points de la superficie, n'ont pas sensiblement moins de force que ceux du centre; en sorte que la violence de la chaleur qu'ils peuvent causer, se doit mesurer par la grandeur du corps qui les assemble, comparée avec celle de l'espace où il les assemble.... sans que la grandeur du diamètre de ce corps y puisse rien ajouter, ni sa figure particulière, qu'environ un quart ou un tiers tout au plus; il est certain que cette ligne brûlante à l'infini, que quelques-uns ont imaginée, n'est qu'une rêverie ».

Jusqu'ici il n'est question que de verres brûlans par réfraction, mais ce raisonnement doit s'appliquer de même aux miroirs par réflexion, et avant que de faire voir que l'auteur n'a pas tiré de cette théorie les conséquences qu'il devoit en tirer, il est bon de lui répondre d'abord par l'expérience. Cette ligne brûlante à l'infini, qu'il regarde comme une rêverie, pourroit s'exécuter par des miroirs de réflexion semblables au mien, non pas à une distance infinie, parce que l'homme ne peut rien faire d'infini, mais à une distance indéfinie assez considérable. Car

supposons que mon miroir au lieu d'être composé de deux cens vingt-quatre petites glaces, fût composé de deux mille, ce qui est possible; il n'en faut que vingt pour brûler à 20 pieds, et le foyer étant comme une colonne de lumière, ces vingt glaces brûlent en même-tems à 17 et à 23 pieds; avec vingt-cinq autres glaces, je ferai un foyer qui brûlera depuis 23 jusqu'à 30; avec vingt-neuf glaces, un foyer qui brûlera depuis 30 jusqu'à 40; avec trente-quatre glaces, un foyer qui brûlera depuis 40 jusqu'à 52; avec quarante glaces, depuis 52 jusqu'à 64; avec cinquante glaces, depuis 64 jusqu'à 76; avec soixante glaces, depuis 76 jusqu'à 88; avec soixante-dix glaces, depuis 88 jusqu'à 100 pieds; voilà donc déjà une ligne brûlante, depuis 17 jusqu'à 100 pieds, où je n'aurai employé que trois cents vingt-huit glaces; et pour la continuer, il n'y a qu'à faire d'abord un foyer de quatre-vingts glaces, il brûlera depuis 100 pieds jusqu'à 116; et quatre-vingt-douze glaces, depuis 116 jusqu'à 134 pieds; et cent huit glaces, depuis 134 jusqu'à 150; et cent vingt-quatre glaces, depuis 150 jusqu'à 170; et cent cinquante-quatre glaces, depuis 170 jusqu'à 200 pieds; ainsi voilà ma ligne brûlante prolongée de 100 pieds, en sorte que depuis dix-sept pieds jus-

qu'à 200 pieds, en quelqu'endroit de cette distance qu'on puisse mettre un corps combustible, il sera brûlé; et pour cela il ne faut en tout que huit cents quatre-vingt-six glaces de six pouces, et en employant le reste des deux mille glaces, je prolongerai de même la ligne brûlante jusqu'à 3 et 400 pieds; et avec un plus grand nombre de glaces, par exemple, avec quatre mille je la prolongerai beaucoup plus loin, à une distance indéfinie. Or, tout ce qui dans la pratique est indéfini, peut être regardé comme infini dans la théorie; donc notre célèbre philosophe a eu tort de dire que cette ligne brûlante à l'infini n'étoit qu'une rêverie.

Maintenant, venons à la théorie : rien n'est plus vrai que ce que dit ici Descartes au sujet de la réunion des rayons du soleil, qui ne se fait pas dans un point, mais dans un espace ou foyer dont le diamètre augmente à proportion de la distance. Mais ce grand philosophe n'a pas senti l'étendue de ce principe qu'il ne donne que comme une remarque; car s'il y eût fait attention, il n'auroit pas considéré dans tout le reste de son ouvrage les rayons du soleil comme parallèles, il n'auroit pas établi comme le fondement de la théorie de sa construction

des lunettes, la réunion des rayons dans un point, et il se seroit bien gardé de dire affirmativement (*page 131*), *Nous pourrons par cette invention voir des objets aussi particuliers et aussi petits dans les astres, que ceux que nous voyons communément sur la terre.* Cette assertion ne pouvoit être vraie qu'en supposant le parallélisme des rayons et leur réunion en un seul point, et par conséquent elle est opposée à sa propre théorie, ou plutôt il n'a pas employé la théorie comme il le falloit; et en effet, s'il n'eût pas perdu de vue cette remarque, il eût supprimé les deux derniers livres de sa Dioptrique; car il auroit vu que quand même les ouvriers eussent pu tailler les verres comme il l'exigeoit, ces verres n'auroient pas produit les effets qu'il leur a supposés, de nous faire distinguer les plus petits objets dans les astres; à moins qu'il n'eût en même tems supposé dans ces objets une intensité de lumière infinie, ou, ce qui revient au même, qu'ils eussent, malgré leur éloignement, pu former un angle sensible à nos yeux.

Comme ce point d'optique n'a jamais été bien éclairci, j'entrerai dans quelque détail à cet égard : on peut démontrer que deux

objets également lumineux et dont les diamètres sont différens, ou bien que deux objets dont les diamètres sont égaux, et dont l'intensité de lumière est différente, doivent être observés avec des lunettes différentes; que pour observer avec le plus grand avantage possible, il faudroit des lunettes différentes pour chaque planète; que, par exemple, Vénus qui nous paroît bien plus petite que la lune, et dont je suppose pour un instant la lumière égale à celle de la lune, doit être observée avec une lunette d'un plus long foyer que la lune; et que la perfection des lunettes, pour en tirer le plus grand avantage possible, dépend d'une combinaison qu'il faut faire, non seulement entre les diamètres et les courbures des verres, comme Descartes l'a fait, mais encore entre ces mêmes diamètres et l'intensité de la lumière de l'objet qu'on observe. Cette intensité de la lumière de chaque objet, est un élément que les auteurs qui ont écrit sur l'optique n'ont jamais employé, et cependant il fait plus que l'augmentation de l'angle sous lequel un objet doit nous paroître, en vertu de la courbure des verres. Il en est de même d'une chose qui semble être un paradoxe,

c'est que les miroirs ardens, soit par réflexion, soit par réfraction, feroient un effet toujours égal à quelque distance qu'on les mît du soleil. Par exemple, mon miroir brûlant à 150 pieds du bois sur la terre, brûleroit de même à 150 pieds et avec autant de force du bois dans Saturne, où cependant la chaleur du soleil est environ cent fois moindre que sur la terre. Je crois que les bons esprits sentiront bien, sans autre démonstration, la vérité de ces deux propositions, quoique toutes deux nouvelles et singulières.

Mais pour ne pas m'écarter du sujet que je me suis proposé, et pour démontrer que Descartes n'ayant pas la théorie qui est nécessaire pour construire les miroirs d'Archimède, il n'étoit pas en état de prononcer qu'ils étoient impossibles, je vais faire sentir, autant que je le pourrai, en quoi consistoit la difficulté de cette invention.

Si le soleil, au lieu d'occuper à nos yeux un espace de 32 minutes de dégré, étoit réduit en un point, alors il est certain que ce point de lumière réfléchie par un point d'une surface polie, produiroit à toutes les distances une lumière et une chaleur égales, parce que l'interposition de l'air ne fait rien

ou presque rien ici ; que par conséquent un miroir dont la surface seroit égale à celle d'un autre, brûleroit à 10 lieues à peu près aussi bien que le premier brûleroit à 10 pieds, s'il étoit possible de le travailler sur une sphère de 40 lieues, comme on peut travailler l'autre sur une sphère de 40 pieds; parce que chaque point de la surface du miroir réfléchissant le point lumineux auquel nous avons réduit le disque du soleil, on auroit, en variant la courbure des miroirs, une égale chaleur ou une égale lumière à toutes les distances sans changer leurs diamètres; ainsi pour brûler à une grande distance, dans ce cas il faudroit en effet un miroir très-exactement travaillé sur une sphère, ou une hyperboloïde proportionnée à la distance, ou bien un miroir brisé en une infinité de points physiques plans, qu'il faudroit faire coïncider au même point; mais le disque du soleil occupant un espace de 32 minutes de dégré, il est clair que le même miroir sphérique ou hyperbolique ou d'un autre figure quelconque, ne peut jamais, en vertu de cette figure, réduire l'image du soleil en un espace plus petit que de 32 minutes; que dès-lors l'image augmentera toujours à mesure qu'on s'éloignera;

que de plus chaque point de la surface nous donnera une image d'une même largeur, par exemple, d'un demi-pied à 60 pieds : or comme il est nécessaire pour produire tout l'effet possible que toutes ces images coïncident dans cet espace d'un demi-pied, alors au lieu de briser le miroir en une infinité de parties, il est évident qu'il est à peu près égal et beaucoup plus commode de ne le briser qu'en un petit nombre de parties planes d'un demi-pied de diamètre chacune, parce que chaque petit miroir plan d'un demi-pied donnera une image d'environ un demi-pied, qui sera à peu près aussi lumineuse qu'une pareille surface d'un demi-pied prise dans le miroir sphérique ou hyperbolique.

La théorie de mon miroir ne consiste donc pas, comme on l'a dit ici, à avoir trouvé l'art d'inscrire aisément des plans dans une surface sphérique et le moyen de changer, à volonté, la courbure de cette surface sphérique; mais elle suppose cette remarque plus délicate, et qui n'avoit jamais été faite, c'est qu'il y a presque autant d'avantage à se servir de miroirs plans, que de miroirs de toute autre figure, dès qu'on veut brûler à une certaine distance, et que la grandeur du

miroir plan est déterminée par la grandeur de l'image à cette distance, en sorte qu'à la distance de 60 pieds, où l'image du soleil a environ un demi-pied de diamètre, on brûlera à peu près aussi bien avec des miroirs plans d'un demi-pied, qu'avec des miroirs hyperboliques les mieux travaillés, pourvu qu'ils n'aient que la même grandeur. De même, avec des miroirs plans d'un pouce et demi, on brûlera à 15 pieds, à peu près avec autant de force qu'avec un miroir exactement travaillé dans toutes ses parties, et pour le dire en un mot, un miroir à facettes plates produira, à peu près, autant d'effet qu'un miroir travaillé avec la dernière exactitude dans toutes ses parties, pourvu que la grandeur de chaque facette soit égale à la grandeur de l'image du soleil; et c'est par cette raison qu'il y a une certaine proportion entre la grandeur des miroirs plans et les distances, et que pour brûler plus loin, on peut employer, même avec avantage, de plus grandes glaces dans mon miroir, que pour brûler plus près.

Car si cela n'étoit pas, on sent bien, qu'en réduisant, par exemple, mes glaces de six pouces à trois pouces, et employant quatre fois autant de ces glaces que des premières,

ce qui revient au même pour l'étendue de la surface du miroir, j'aurois eu quatre fois plus d'effet, et que plus les glaces seroient petites, et plus le miroir produiroit d'effet; et c'est à ceci que se seroit réduit l'art de quelqu'un, qui auroit seulement tenté d'inscrire une surface polygone dans une sphère, et qui auroit imaginé l'ajustement dont je me suis servi, pour faire changer à volonté la courbure de cette surface; il auroit fait les glaces les plus petites qu'il auroit été possible; mais le fond et la théorie de la chose est d'avoir reconnu qu'il n'étoit pas seulement question d'inscrire une surface polygone dans une sphère, avec exactitude, et d'en faire varier la courbure à volonté; mais encore que chaque partie de cette surface devoit avoir une certaine grandeur déterminée, pour produire aisément un grand effet; ce qui fait un problême fort différent, et dont la solution m'a fait voir, qu'au lieu de travailler ou de briser un miroir dans toutes ses parties, pour faire coïncider les images au même endroit, il suffisoit de le briser ou de le travailler à facettes planes, en grandes portions, égales à la grandeur de l'image, et qu'il y avoit peu à gagner, en le brisant en de trop petites parties, ou, ce qui est la

même

même chose, en le travaillant exactement dans tous ses points. C'est pour cela que j'ai dit dans mon mémoire, que pour brûler à de grandes distances, il falloit imaginer quelque chose de nouveau, et tout-à-fait indépendant de ce qu'on avoit pensé et pratiqué jusqu'ici, et ayant supputé géométriquement la différence, j'ai trouvé qu'un miroir parfait, de quelque courbure qu'il puisse être, n'aura jamais plus d'avantage sur le mien que de 17 à 10, et qu'en même tems l'exécution en seroit impossible, pour ne brûler même qu'à une petite distance, comme de 25 ou 30 pieds. Mais revenons aux assertions de Descartes.

Il dit ensuite « qu'ayant deux verres ou miroirs ardens, dont l'un soit beaucoup plus grand que l'autre, de quelque façon qu'ils puissent être, pourvu que leurs figures soient toutes pareilles, le plus grand doit bien ramasser les rayons du soleil en un plus grand espace et plus loin de soi que le plus petit, mais que ces rayons ne doivent point avoir plus de force en chaque partie de cet espace qu'en celui où le plus petit les ramasse, en sorte qu'on peut faire des verres ou miroirs extrêmement petits, qui brûleront avec autant de violence que les plus grands. »

Ceci est absolument contraire aux expériences que j'ai rapportées dans mon mémoire, où j'ai fait voir, qu'à égale intensité de lumière, un grand foyer brûle beaucoup plus qu'un petit, et c'est en partie sur cette remarque, toute opposée au sentiment de Descartes, que j'ai fondé la théorie de mes miroirs; car voici ce qui suit de l'opinion de ce philosophe. Prenons un grand miroir ardent, comme celui du sieur Segard, qui a 32 pouces de diamètre, et un foyer de 9 lignes de largeur à 6 pieds de distance, auquel foyer le cuivre se fond en une minute, et faisons dans les mêmes proportions un petit miroir ardent de 32 lignes de diamètre, dont le foyer sera de $\frac{6}{12}$ ou de $\frac{3}{4}$ de ligne de diamètre, et la distance de 6 pouces; puisque le grand miroir fond le cuivre en une minute, dans l'étendue de son foyer, qui est de 9 lignes, le petit doit, selon Descartes, fondre dans le même tems la même matière dans l'étendue de son foyer, qui est de $\frac{3}{4}$ de ligne; or, j'en appelle à l'expérience, et on verra que, bien loin de fondre le cuivre, à peine ce petit verre brûlant pourra-t-il lui donner un peu de chaleur.

Comme ceci est une remarque physique et qui n'a pas peu servi à augmenter mes espé-

rances lorsque je doutois encore si je pourrois produire du feu à une grande distance, je crois devoir communiquer ce que j'ai pensé à ce sujet.

La première chose à laquelle je fis attention, c'est que la chaleur se communique de proche en proche et se disperse, quand même elle est appliquée continuellement sur le même point : par exemple, si on fait tomber le foyer d'un verre ardent sur le centre d'un écu, et que ce foyer n'ait qu'une ligne de diamètre, la chaleur qu'il produit sur le centre de l'écu, se disperse et s'étend dans le volume entier de l'écu, et il devient chaud jusqu'à la circonférence; dès lors toute la chaleur, quoiqu'employée d'abord contre le centre de l'écu, ne s'y arrête pas et ne peut pas produire un aussi grand effet que si elle y demeuroit toute entière. Mais si au lieu d'un foyer d'une ligne qui tombe sur le milieu de l'écu, je fais tomber sur l'écu tout entier un foyer d'égale force au premier, toutes les parties de l'écu étant également échauffées dans ce dernier cas ; il n'y a pas de perte de chaleur comme dans le premier, et le point du milieu profitant de la chaleur des autres points, autant que ces points profitent de la sienne, l'écu sera fondu

par la chaleur dans ce dernier cas, tandis que dans le premier il n'aura été que légèrement échauffé. De-là je conclus que toutes les fois qu'on peut faire un grand foyer, on est sûr de produire de plus grands effets qu'avec un petit foyer, quoique l'intensité de lumière soit la même dans tous deux; et qu'un petit miroir ardent ne peut jamais faire autant d'effet qu'un grand; et même qu'avec une moindre intensité de lumière, un grand miroir doit faire plus d'effet qu'un petit, la figure de ces deux miroirs étant toujours supposée semblable. Ceci, qui comme l'on voit, est directement opposé à ce que dit Descartes, s'est trouvé confirmé par les expériences rapportées dans mon mémoire: mais je ne me suis pas borné à savoir d'une manière générale que les grands foyers agissoient avec plus de force que les petits; j'ai déterminé à très-peu près de combien est cette augmentation de force, et j'ai vu qu'elle étoit très-considérable; car j'ai trouvé que s'il faut dans un miroir 144 fois la surface d'un foyer de six lignes de diamètre pour brûler, il faut au moins le double, c'est-à-dire, 288 fois cette surface pour brûler à un foyer de deux lignes; et qu'à un foyer de 6 pouces, il ne faut pas 30 fois

cette même surface du foyer pour brûler; ce qui fait, comme l'on voit, une prodigieuse différence, et sur laquelle j'ai compté lorsque j'ai entrepris de faire mon miroir; sans cela il y auroit eu de la témérité à l'entreprendre, et il n'auroit pas réussi. Car supposons un instant que je n'eusse pas eu cette connoissance de l'avantage des grands foyers sur les petits, voici comme j'aurois été obligé de raisonner : Puisqu'il faut à un miroir 288 fois la surface du foyer pour brûler dans un espace de deux lignes, il faudra de même 288 glaces ou miroirs de six pouces pour brûler dans un espace de six pouces; et dès-lors, pour brûler seulement à 100 pieds, il auroit fallu un miroir composé d'environ 1152 glaces de 6 pouces, ce qui étoit une grandeur énorme pour un petit effet, et cela étoit plus que suffisant pour me faire abandonner mon projet; mais connoissant l'avantage considérable des grands foyers sur les petits, qui, dans ce cas, est de 288 à 30, je sentis qu'avec 120 glaces de 6 pouces, je brûlerois très-certainement à 100 pieds, et c'est sur cela que j'entrepris avec confiance la construction de mon miroir qui, comme l'on voit, suppose une théorie tant mathématique que

physique, fort différente de ce qu'on pouvoit imaginer au premier coup-d'œil.

Descartes ne devoit donc pas affirmer qu'un petit miroir ardent brûloit aussi violemment qu'un grand.

Il dit ensuite, « et un miroir ardent dont le diamètre n'est pas plus grand qu'environ la centième partie de la distance qui est entre lui et le lieu où il doit rassembler les rayons du soleil, c'est-à-dire, qui a même proportion avec cette distance qu'a le diamètre du soleil avec celle qui est entre lui et nous, fût-il poli par un ange, ne peut faire que les rayons qu'il assemble, échauffent plus en l'endroit où il les assemble, que ceux qui viennent directement du soleil, ce qui se doit aussi entendre des verres brûlans à proportion; d'où vous pouvez voir que ceux qui ne sont qu'à demi-savans en l'optique, se laissent persuader beaucoup de choses qui sont impossibles, et que ces miroirs, dont on a dit qu'Archimède brûloit des navires de fort loin, devoient être extrêmement grands, ou plutôt qu'ils sont fabuleux ».

C'est ici où je bornerai mes réflexions : si notre illustre philosophe eût su que les grands foyers brûlent plus que les petits à

égale intensité de lumière, il auroit jugé bien différemment, et il auroit mis une forte restriction à cette conclusion.

Mais indépendamment de cette connoissance qui lui manquoit, son raisonnement n'est point du tout exact; car un miroir ardent, dont le diamètre n'est pas plus grand qu'environ la centième partie qui est entre lui et le lieu où il doit rassembler les rayons, n'est plus un miroir ardent, puisque le diamètre de l'image est environ égal au diamètre du miroir dans ce cas, et par conséquent il ne peut rassembler les rayons, comme le dit Descartes, qui semble n'avoir pas vu qu'on doit réduire ce cas à celui des miroirs plans. Mais de plus, en n'employant que ce qu'il savoit, et ce qu'il avoit prévu, il est visible que s'il eût réfléchi sur l'effet de ce prétendu miroir qu'il suppose poli par un ange, et qui ne doit pas rassembler, mais seulement réfléchir la lumière avec autant de force qu'elle en a en venant directement du soleil, il auroit vu qu'il étoit possible de brûler à de grandes distances avec un miroir de médiocre grandeur, s'il eût pu lui donner la figure convenable, car il auroit trouvé que dans cette hypothèse, un miroir de cinq pieds auroit brûlé à plus de deux cents pieds,

parce qu'il ne faut pas six fois la chaleur du soleil pour brûler à cette distance ; et de même qu'un miroir de sept pieds auroit brûlé à près de 400 pieds, ce qui ne fait pas des miroirs assez grands pour qu'on puisse les traiter de fabuleux.

Il me reste à observer que Descartes ignoroit combien il falloit de fois la lumière du soleil pour brûler, qu'il ne dit pas un mot des miroirs plans, qu'il étoit fort éloigné de soupçonner la mécanique par laquelle on pouvoit les disposer pour brûler au loin, et que par conséquent il a prononcé sans avoir assez de connoissance sur cette matière et même sans avoir fait assez de réflexions sur ce qu'il en savoit.

Au reste je ne suis pas le premier qui ait fait quelques reproches à Descartes sur ce sujet, quoique j'en aie acquis le droit plus qu'un autre, car pour ne pas sortir du sein de cette compagnie (1) je trouve que M. du Fay en a presque dit autant que moi. Voici ses paroles : *Il ne s'agit pas*, dit-il, *si un tel miroir qui brûleroit à 600 pieds est possible ou non, mais si, physiquement parlant, cela peut arriver. Cette opinion a été extrêmement*

(1) L'académie royale des sciences.

contredite, et je dois mettre Descartes à la tête de ceux qui l'ont combattue. Mais quoique M. du Fay regardât la chose comme impossible à exécuter, il n'a pas laissé de sentir que Descartes avoit eu tort d'en nier la possibilité dans la théorie. J'avouerai volontiers que Descartes a entrevu ce qui arrive aux images réfléchies ou réfractées à différentes distances, et qu'à cet égard, sa théorie est peut-être aussi bonne que celle de M. du Fay, que ce dernier n'a pas développée : mais les inductions qu'il en tire sont trop générales et trop vagues, et les dernières conséquences sont fausses ; car si Descartes eût bien compris toute cette matière, au lieu de traiter le miroir d'Archimède de chose impossible et fabuleuse, voici ce qu'il auroit dû conclure de sa propre théorie. Puisqu'un miroir ardent, dont le diamètre n'est pas plus grand que la centième partie de la distance qui est entre le lieu où il doit rassembler les rayons du soleil, fût-il poli par un ange, ne peut faire que les rayons qu'il assemble échauffent plus en l'endroit où il les assemble que ceux qui viennent directement du soleil ; ce miroir ardent doit être considéré comme un miroir plan parfaitement poli, et par conséquent pour brûler à une grande distance, il faut

autant de ces miroirs plans qu'il faut de fois la lumière directe du soleil pour brûler ; en sorte que les miroirs dont on dit qu'Archimède s'est servi pour brûler des vaisseaux de loin, devoient être composés de miroirs plans, dont il falloit au moins un nombre égal au nombre de fois qu'il faut la lumière directe du soleil pour brûler ; cette conclusion qui eût été la vraie, selon ses principes, est, comme l'on voit, fort différente de celle qu'il a donnée.

On est maintenant en état de juger si je n'ai pas traité le célèbre Descartes avec tous les égards que mérite son grand nom, lorsque j'ai dit dans mon mémoire : *Descartes né pour juger et même pour surpasser Archimède, a prononcé contre lui d'un ton de maître : il a nié la possibilité de l'invention, et son opinion a prévalu sur les témoignages et la croyance de toute l'antiquité.*

Ce que je viens d'exposer suffit pour justifier ces termes que l'on m'a reprochés, et peut-être même sont-ils trop forts, car Archimède étoit un très-grand génie, et lorsque j'ai dit que Descartes étoit né pour le juger, et même pour le surpasser, j'ai senti qu'il pouvoit bien y avoir un peu de compliment national dans mon expression.

J'aurois encore beaucoup de choses à dire sur cette matière, mais comme ceci est déjà bien long, quoique j'aie fait tous mes efforts pour être court, je me bornerai pour le fond du sujet à ce que je viens d'exposer; mais je ne puis me dispenser de parler encore un moment au sujet de l'historique de la chose, afin de satisfaire par ce seul mémoire à toutes les objections et difficultés qu'on m'a faites.

Je ne prétends pas prononcer affirmativement qu'Archimède se soit servi de pareils miroirs au siége de Syracuse, ni même que ce soit lui qui les ait inventés; et je ne les ai appelés *les miroirs d'Archimède*, que parce qu'ils étoient connus sous ce nom depuis plusieurs siècles; les auteurs contemporains et ceux des tems qui suivent celui d'Archimède, et qui sont parvenus jusqu'à nous, ne font pas mention de ces miroirs. Tite-Live, à qui le merveilleux fait tant de plaisir à raconter, n'en parle pas; Polybe, à l'exactitude de qui les grandes inventions n'auroient pas échappé, puisqu'il entre dans le détail des plus petites, et qu'il décrit très-soigneusement les plus légères circonstances du siége de Syracuse, garde un silence profond au sujet de ces miroirs.

Plutarque, ce judicieux et grave auteur, qui a rassemblé un si grand nombre de faits particuliers de la vie d'Archimède, parle aussi peu des miroirs que les deux précédens. En voilà plus qu'il n'en faut pour se croire fondé à douter de la vérité de cette histoire; cependant ce ne sont ici que des témoignages négatifs, et quoiqu'ils ne soient pas indifférens, ils ne peuvent jamais donner une probabilité équivalente à celle d'un seul témoignage positif.

Galien qui vivoit dans le second siècle, est le premier qui en ait parlé; et après avoir raconté l'histoire d'un homme qui enflamma de loin un monceau de bois résineux, mêlé avec de la fiente de pigeon, il dit, que c'est de cette façon qu'Archimède brûla les vaisseaux des romains; mais comme il ne décrit pas ce moyen de brûler de loin, et que son expression peut signifier aussi bien un feu qu'on auroit lancé à la main, ou par quelque machine, qu'une lumière réfléchie par un miroir, son témoignage n'est pas assez clair pour qu'on puisse en rien conclure d'affirmatif : cependant on doit présumer, et même avec une grande probabilité, qu'il ne rapporte l'histoire de cet homme qui brûla au loin, que parce

qu'il le fit d'une manière singulière, et que s'il n'eût brûlé qu'en lançant le feu à la main, ou en le jetant par le moyen d'une machine, il n'y auroit eu rien d'extraordinaire dans cette façon d'enflammer; rien par conséquent qui fût digne de remarque, et qui méritât d'être rapporté et comparé à ce qu'avoit fait Archimède, et dès-lors Galien n'en eût pas fait mention.

On a aussi des témoignages semblables de deux ou trois autres auteurs du troisième siècle, qui disent seulement qu'Archimède brûla de loin les vaisseaux des romains, sans expliquer les moyens dont il se servit; mais les témoignages des auteurs du douzième siècle ne sont point équivoques, et sur-tout ceux de Zonaras et de Tzetzès que j'ai cités, c'est-à-dire, ils nous font voir clairement que cette invention étoit connue des anciens; car la description qu'en fait ce dernier auteur, suppose nécessairement ou qu'il eût trouvé lui-même le moyen de construire ces miroirs, ou qu'il l'eût appris et cité d'après quelque auteur qui en avoit fait une très-exacte description, et que l'inventeur, quel qu'il fût, entendoit à fond la théorie de ces miroirs, ce qui résulte de ce que dit Tzetzès de la figure de 24 angles

ou 24 côtés qu'avoient les petits miroirs, ce qui est en effet la figure la plus avantageuse : ainsi on ne peut pas douter que ces miroirs n'aient été inventés et exécutés autrefois, et le témoignage de Zonaras au sujet de Proclus n'est pas suspect, *Proclus s'en servit*, dit-il, *au siége de Constantinople, l'an 514, et il brûla la flotte de Vitalien.* Et même ce que Zonaras ajoute me paroît une espèce de preuve, qu'Archimède étoit le premier inventeur de ces miroirs, car il dit précisément que cette découverte étoit ancienne, et que l'historien Dion en attribue l'honneur à Archimède qui la fit et s'en servit contre les romains au siége de Syracuse ; les livres de Dion, où il est parlé du siége de Syracuse, ne sont pas parvenus jusqu'à nous, mais il y a grande apparence qu'ils existoient encore du tems de Zonaras, et que sans cela il ne les eût pas cités comme il l'a fait. Ainsi toutes les probabilités de part et d'autre étant évaluées, il reste une forte présomption qu'Archimède avoit en effet inventé ces miroirs, et qu'il s'en étoit servi contre les romains. Feu M. Melot, que j'ai cité dans mon mémoire, et qui avoit fait des recherches particulières et très-exactes sur

ce sujet, étoit de ce sentiment, et il pensoit qu'Archimède avoit en effet brûlé les vaisseaux à une distance médiocre, et comme le dit Tzetzès, à la portée du trait; j'ai évalué la portée du trait à 150 pieds, d'après ce que m'en ont dit des savans très-versés dans la connoissance des usages anciens, ils m'ont assuré que toutes les fois qu'il est question, dans les auteurs, de la portée du trait, on doit entendre la distance à laquelle un homme lançoit à la main un trait ou un javelot, et si cela est, je crois avoir donné à cette distance toute l'étendue qu'elle peut comporter.

J'ajouterai qu'il n'est question dans aucun auteur ancien, d'une plus grande distance, comme de trois stades, et j'ai déjà dit que l'auteur qu'on m'avoit cité, Diodore de Sicile, n'en parle pas, non plus que du siége de Syracuse, et que ce qui nous reste de cet auteur, finit à la guerre d'Ipsus et d'Antigonus, environ soixante ans avant le siége de Syracuse; ainsi on ne peut pas excuser Descartes, en supposant qu'il a cru que la distance à laquelle on a prétendu qu'Archimède avoit brûlé, étoit très-grande, comme, par exemple, de trois stades, puisque cela n'est dit dans aucun auteur

ancien, et qu'au contraire il est dit dans Tzetzès, que cette distance n'étoit que de la portée du trait; mais je suis convaincu que c'est cette même distance que Descartes a regardée comme fort grande, et qu'il étoit persuadé qu'il n'étoit pas possible de faire des miroirs pour brûler à 150 pieds, qu'enfin c'est pour cette raison qu'il a traité ceux d'Archimède de fabuleux.

Au reste, les effets du miroir que j'ai construit ne doivent être regardés que comme des essais sur lesquels, à la vérité, on peut statuer toutes proportions gardées, mais qu'on ne doit pas considérer comme les plus grands effets possibles, car je suis convaincu que si on vouloit faire un miroir semblable, avec toutes les attentions nécessaires, il produiroit plus du double de l'effet; la première attention seroit de prendre des glaces de figure hexagone ou même de 24 côtés, au lieu de les prendre barlongues, comme celles que j'ai employées, et cela afin d'avoir des figures qui pussent s'ajuster ensemble sans laisser de grands intervalles, et qui approchassent en même tems de la figure circulaire; la seconde seroit de faire polir ces glaces jusqu'au dernier dégré par un lunetier, au lieu de les employer telles

qu'elles

qu'elles sortent de la manufacture, où le poliment se faisant par une portion de cercle, les glaces sont toujours un peu concaves et irrégulières; la troisième attention seroit de choisir parmi un grand nombre de glaces, celles qui donneroient à une grande distance une image plus vive et mieux terminée, ce qui est extrêmement important, et au point qu'il y a dans mon miroir des glaces qui font seules trois fois plus d'effet que d'autres à une grande distance, quoiqu'à une petite distance, comme de 20 ou 25 pieds, l'effet en paroisse absolument le même. Quatrièmement, il faudroit des glaces d'un demi-pied tout au plus de surface, pour brûler à 150 ou 200 pieds, et d'un pied de surface pour brûler à trois ou 400 pieds. Cinquièmement, il faudroit les faire étamer avec plus de soin qu'on ne le fait ordinairement; j'ai remarqué qu'en général les glaces fraîchement étamées, réfléchissent plus de lumière que celles qui le sont anciennement; l'étamage en se séchant, se gerse, se divise, et laisse de petits intervalles qu'on apperçoit en y regardant de près avec une loupe, et ces petits intervalles donnant passage à la lumière, la glace en réfléchit d'autant moins. On pourroit trouver le moyen

de faire un meilleur étamage, et je crois qu'on y parviendroit en employant de l'or et du vif-argent : la lumière seroit peut-être un peu jaune par la réflexion de cet étamage; mais bien loin que cela fît un désavantage, j'imagine au contraire qu'il y auroit à gagner, parce que les rayons jaunes sont ceux qui ébranlent le plus fortement la rétine et qui brûlent le plus violemment, comme je crois m'en être assuré, en réunissant, au moyen d'un verre lenticulaire, une quantité de rayons jaunes qui m'étoient fournis par un grand prisme, et en comparant leur action avec une égale quantité de rayons de toute autre couleur, réunis par le même verre lenticulaire, et fournis par le même prisme.

Sixièmement, il faudroit un châssis de fer et des vis de cuivre, et un ressort pour assujettir chacune des petites planches qui portent les glaces, tout cela conforme à un modèle que j'ai fait exécuter par le sieur Chopitel, afin que la sécheresse et l'humidité qui agissent sur le châssis et les vis en bois, ne causassent pas d'inconvénient, et que le foyer, lorsqu'il est une fois formé, ne fût pas sujet à s'élargir, et à se déranger lorsqu'on fait rouler le miroir sur son pivot, ou qu'on le fait tourner autour de son axe

pour suivre le soleil : il faudroit aussi y ajouter une alidade avec deux pinnules au milieu de la partie inférieure du châssis, afin de s'assurer de la position du miroir par rapport au soleil, et une autre alidade semblable, mais dans un plan vertical au plan de la première pour suivre le soleil à ses différentes hauteurs.

Au moyen de toutes ces attentions, je crois pouvoir assurer, par l'expérience que j'ai acquise en me servant de mon miroir, qu'on pourroit en réduire la grandeur à moitié, et qu'au lieu d'un miroir de sept pieds avec lequel j'ai brûlé du bois à 150 pieds, on produiroit le même effet avec un miroir de cinq pieds $\frac{1}{2}$, ce qui n'est, comme l'on voit, qu'une très-médiocre grandeur pour un très-grand effet; et de même, je crois pouvoir assurer qu'il ne faudroit alors qu'un miroir de quatre pieds $\frac{1}{2}$ pour brûler à 100 pieds, et qu'un miroir de trois pieds $\frac{1}{2}$ brûleroit à 60 pieds, ce qui est une distance bien considérable en comparaison du diamètre du miroir.

Avec un assemblage de petits miroirs plans hexagones et d'acier poli, qui auroient plus de solidité, plus de durée que les glaces étamées, et qui ne seroient point sujets aux altérations que la lumière du soleil fait subir

à la longue à l'étamage, on pourroit produire des effets très-utiles, et qui dédommageroient amplement des dépenses de la construction du miroir.

1°. Pour toutes les évaporations des eaux salées, où l'on est obligé de consommer du bois et du charbon, ou d'employer l'art des bâtimens de graduation qui coûtent beaucoup plus que la construction de plusieurs miroirs tels que je les propose. Il ne faudroit pour l'évaporation des eaux salées, qu'un assemblage de douze miroirs plans d'un pied carré chacun; la chaleur qu'ils réfléchiront à leur foyer, quoique dirigée au-dessous de leur niveau, et à 15 ou 16 pieds de distance, sera encore assez grande pour faire bouillir l'eau, et produire par conséquent une prompte évaporation; car la chaleur de l'eau bouillante n'est que triple de la chaleur du soleil d'été; et comme la réflexion d'une surface plane bien polie ne diminue la chaleur que de moitié, il ne faudroit que six miroirs pour produire au foyer une chaleur égale à celle de l'eau bouillante, mais j'en double le nombre afin que la chaleur se communique plus vîte, et aussi à cause de la perte occasionnée par l'obliquité, sous laquelle le faisceau de la lumière tombe

sur la surface de l'eau qu'on veut faire évaporer, et encore parce que l'eau salée s'échauffe plus lentement que l'eau douce. Ce miroir dont l'assemblage ne formeroit qu'un carré de quatre pieds de largeur sur trois de hauteur, seroit aisé à manier et à transporter; et si l'on vouloit en doubler ou tripler les effets dans le même tems, il vaudroit mieux faire plusieurs miroirs semblables, c'est-à-dire, doubler ou tripler le nombre de ces mêmes miroirs de quatre pieds sur trois que d'en augmenter l'étendue; car l'eau ne peut recevoir qu'un certain dégré de chaleur déterminée, et l'on ne gagneroit presque rien à augmenter ce dégré et par conséquent la grandeur du miroir; au lieu qu'en faisant deux foyers par deux miroirs égaux, on doublera l'effet de l'évaporation, et on le triplera par trois miroirs dont les foyers tomberont séparément les uns des autres sur la surface de l'eau qu'on veut faire évaporer. Au reste, l'on ne peut éviter la perte causée par l'obliquité, et si l'on veut y remédier, ce ne peut être que par une autre perte encore plus grande, en recevant d'abord les rayons du soleil sur une grande glace qui les réfléchiroit sur le miroir brisé; car alors il brûleroit

en bas au lieu de brûler en haut, mais il perdroit moitié de la chaleur par la première réflexion, et moitié du reste par la seconde, en sorte qu'au lieu de six petits miroirs, il en faudroit 12 pour obtenir une chaleur égale à celle de l'eau bouillante.

Pour que l'évaporation se fasse avec plus de succès, il faudra diminuer l'épaisseur de l'eau, autant qu'il sera possible. Une masse d'eau d'un pied d'épaisseur, ne s'évaporera pas aussi vîte, à beaucoup près, que la même masse, réduite à six pouces d'épaisseur, et augmentée du double en superficie. D'ailleurs, le fond étant plus près de la surface, il s'échauffe plus promptement, et cette chaleur, que reçoit le fond du vaisseau, contribue encore à la célérité de l'évaporation.

2°. On pourra se servir avec avantage de ces miroirs, pour calciner les plâtres et même les pierres calcaires, mais il les faudroit plus grands, et placer les matières en haut, afin de ne rien perdre par l'obliquité de la lumière. On a vu par les expériences, détaillées dans le second de ces mémoires, que le gypse s'échauffe plus d'une fois plus vîte que la pierre calcaire tendre, et près de deux fois plus vîte que le marbre ou la pierre calcaire dure, leur calcination respective doit

être en même raison. J'ai trouvé par une expérience répétée trois fois, qu'il faut un peu plus de chaleur, pour calciner le gypse blanc, qu'on appelle *albâtre*, que pour fondre le plomb. Or, la chaleur nécessaire pour fondre le plomb, est suivant les expériences de Newton, huit fois plus grande que la chaleur du soleil d'été, il faudroit donc au moins seize petits miroirs, pour calciner le gypse, et à cause des pertes occasionnées, tant par l'obliquité de la lumière, que par l'irrégularité du foyer, qu'on n'éloignera pas au-delà de quinze pieds, je présume qu'il faudroit vingt et peut-être vingt-quatre miroirs d'un pied carré chacun, pour calciner le gypse en peu de tems : par conséquent il faudroit un assemblage de quarante-huit de ces petits miroirs, pour opérer la calcination sur la pierre calcaire la plus tendre, et soixante-douze des mêmes miroirs d'un pied en carré, pour calciner les pierres calcaires dures. Or, un miroir de douze pieds de largeur, sur six pieds de hauteur, ne laisse pas d'être une grosse machine embarrassante et difficile à mouvoir, à monter et à maintenir. Cependant on viendroit à bout de ces difficultés, si le produit de la calcination étoit assez considérable, pour

équivaloir et même surpasser la dépense de la consommation du bois; il faudroit, pour s'en assurer, commencer par calciner le plâtre avec un miroir de vingt-quatre pièces, et si cela réussissoit, faire deux autres miroirs pareils, au lieu d'en faire un grand de soixante-douze pièces; car, en faisant coïncider les foyers de ces trois miroirs de vingt-quatre pièces, on produira une chaleur égale, et qui seroit assez forte pour calciner le marbre ou la pierre dure.

Mais une chose très-essentielle reste douteuse, c'est de savoir combien il faudroit de tems pour calciner, par exemple, un pied cube de matière, sur-tout, si ce pied cube n'étoit frappé de chaleur que par une face? je vois qu'il se passeroit du tems, avant que la chaleur n'eût pénétré toute son épaisseur, je vois que, pendant tout ce tems, il s'en perdroit une assez grande partie, qui sortiroit de ce bloc de matière, après y être entrée; je crains donc beaucoup que la pierre n'étant pas saisie par la chaleur de tous les côtés à la fois, la calcination ne fût très-lente, et le produit en chaux très-petit. L'expérience seule peut ici décider; mais il faudroit au moins la tenter sur les matières gypseuses, dont la calcination doit être une fois plus

prompte que celle des pierres calcaires (1).

En concentrant cette chaleur du soleil dans un four qui n'auroit d'autre ouverture que celle qui laisseroit entrer la lumière, on empêcheroit en grande partie la chaleur de s'évaporer, et en mêlant avec les pierres calcaires une petite quantité de brasque ou poudre de charbon, qui de toutes les matières combustibles est la moins chère; cette légère quantité d'alimens suffiroit pour nourrir et augmenter de beaucoup la quantité de chaleur, ce qui produiroit une plus ample et plus prompte calcination, et à très-peu de frais, comme on l'a vu par la seconde expérience du quatrième mémoire.

3°. Ces miroirs d'Archimède peuvent servir en effet à mettre le feu dans des voiles de vaisseaux, et même dans le bois goudronné, à plus de 150 pieds de distance; on pourroit s'en servir aussi contre ses enne-

---

(1) Il vient de paroître un petit ouvrage rempli de grandes vues, de M. l'abbé Scipion Bexon, qui a pour titre : *Système de la fertilisation.* Il propose mes miroirs comme un moyen facile pour réduire en chaux toutes les matières; mais il leur attribue plus de puissance qu'ils n'en ont réellement, et ce n'est qu'en les multipliant qu'on pourroit obtenir les grands effets qu'il s'en promet.

mis en brûlant les blés et les autres productions de la terre ; cet effet, qui seroit assez prompt, seroit très-dommageable, mais ne nous occupons pas des moyens de faire du mal, et ne pensons qu'à ceux qui peuvent procurer quelque bien à l'humanité.

4°. Ces miroirs fournissent le seul et unique moyen qu'il y ait de mesurer exactement la chaleur ; il est évident que deux miroirs dont les images lumineuses se réunissent, produisent une chaleur double dans tous les points de la surface qu'elles occupent ; que trois, quatre, cinq, etc. miroirs donneront de même une chaleur triple, quadruple, quintuple, etc. et que par conséquent on peut par ce moyen faire un thermomètre dont les divisions ne seront point arbitraires, et les échelles différentes, comme le sont celles de tous les thermomètres dont on s'est servi jusqu'à ce jour. La seule chose arbitraire qui entreroit dans la construction de ce thermomètre, seroit la supposition du nombre total des parties du mercure en partant du dégré du froid absolu ; mais en le prenant à 10,000 au dessous de la congélation de l'eau, au lieu de 1,000, comme dans nos thermomètres ordinaires, on approcheroit beaucoup de la réalité, sur-tout en

choisissant les jours de l'hiver les plus froids pour graduer le thermomètre; chaque image du soleil lui donneroit un dégré de chaleur au dessus de la température que nous supposerons à celui de la glace. Le point auquel s'éleveroit le mercure par la chaleur de la première image du soleil, seroit marqué 1. Le point où il s'éleveroit par la chaleur de deux images égales et réunies, sera marqué 2. Celui où trois images le feront monter, sera marqué 3, et ainsi de suite jusqu'à la plus grande hauteur, qu'on pourroit étendre jusqu'au dégré 36. On auroit à ce dégré une augmentation de chaleur trente-six fois plus grande que celle du premier dégré; dix-huit fois plus grande que celle du second; douze fois plus grande que celle du troisième; neuf fois plus grande que celle du quatrième, etc. cette augmentation 36 de chaleur au dessus de celle de la glace seroit assez grande pour fondre le plomb, et il y a toute apparence que le mercure qui se volatilise à une bien moindre chaleur, feroit par sa vapeur casser le thermomètre. On ne pourra donc étendre la division que jusqu'à 12, et peut-être même à 9 dégrés, si l'on se sert du mercure pour ces thermomètres; et l'on n'aura par ce moyen que les dégrés d'une augmentation

de chaleur jusqu'à 9. C'est une des raisons qui avoit déterminé Newton à se servir d'huile de lin au lieu de mercure, et en effet, on pourra, en se servant de cette liqueur, étendre la division non-seulement à 12 dégrés, mais jusqu'au point de cette huile bouillante. Je ne propose pas de remplir ces thermomètres avec de l'esprit-de-vin coloré ; il est universellement reconnu que cette liqueur se décompose au bout d'un assez petit tems (1), et que d'ailleurs elle ne peut servir aux expériences d'une chaleur un peu forte.

Lorsqu'on aura marqué sur l'échelle de ces thermomètres remplis d'huile ou de mercure, les premières divisions 1, 2, 3, 4, etc. qui indiqueront le double, le triple, le quadruple, etc. des augmentations de la chaleur, il faudra chercher les parties aliquotes de chaque division ; par exemple, les points $1\frac{1}{4}$, $2\frac{1}{4}$, $3\frac{1}{4}$, etc. ou de $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$, etc. et de $1\frac{3}{4}$, $2\frac{3}{4}$, $3\frac{3}{4}$, etc. ce que l'on

(1) Plusieurs voyageurs m'ont écrit que les thermomètres à l'esprit-de-vin, de Reaumur, leur étoient devenus tout-à-fait inutiles, parce que cette liqueur se décolore et se charge d'une espèce de boue en assez peu de tems.

obtiendra par un moyen facile, qui sera de couvrir la moitié, ou le quart, ou les trois quarts de la superficie d'un des petits miroirs; car alors l'image qu'il réfléchira ne contiendra que le quart, la moitié, ou les trois quarts de la chaleur que contient l'image entière; et par conséquent les divisions des parties aliquotes seront aussi exactes que celles des nombres entiers.

Si l'on réussit une fois à faire ce thermomètre réel, et que j'appelle ainsi, parce qu'il marqueroit réellement la proportion de la chaleur, tous les autres thermomètres, dont les échelles sont arbitraires et différentes entr'elles, deviendroient non-seulement superflus, mais même nuisibles, dans bien des cas, à la précision des vérités physiques qu'on cherche par leur moyen. On peut se rappeler l'exemple que j'en ai donné, en parlant de l'estimation de la chaleur qui émane du globe de la terre, comparée à la chaleur qui nous vient du soleil.

5°. Au moyen de ces miroirs brisés, on pourra aisément recueillir dans leur entière pureté, les parties volatiles de l'or et de l'argent, et des autres métaux et minéraux; car en exposant au large foyer de ces miroirs une grande plaque de métal, comme une

assiette ou un plat d'argent, on en verra sortir une fumée très-abondante pendant un tems considérable, jusqu'au moment où le métal tombe en fusion, et en ne donnant qu'une chaleur un peu moindre que celle qu'exige la fusion, on fera évaporer le métal au point d'en diminuer le poids assez considérablement. Je me suis assuré de ce premier fait, qui peut fournir des lumières sur la composition intime des métaux : j'aurois bien désiré recueillir cette vapeur abondante que le feu pur du soleil fait sortir du métal; mais je n'avois pas les instrumens nécessaires, et je ne puis que recommander aux chimistes et aux physiciens, de suivre cette expérience importante, dont les résultats seroient d'autant moins équivoques que la vapeur métallique est ici très-pure; au lieu que dans toute opération semblable qu'on voudroit faire avec le feu commun, la vapeur métallique seroit nécessairement mêlée d'autres vapeurs provenant des matières combustibles qui servent d'aliment à ce feu.

D'ailleurs, ce moyen est peut-être le seul que nous ayons, pour volatiliser les métaux fixes, tels que l'or et l'argent; car je présume que cette vapeur que j'ai vu s'élever en si grande quantité de ces métaux échauffés au

large foyer de mon miroir, n'est pas de l'eau ni quelqu'autre liqueur, mais des parties mêmes du métal, que la chaleur en détache, en les volatilisant. On pourroit, en recevant ainsi les vapeurs pures des différens métaux, les mêler ensemble, et faire par ce moyen des alliages plus intimes et plus purs, qu'on ne l'a fait par la fusion et par la mixtion de ces mêmes métaux fondus, qui ne se marient jamais parfaitement, à cause de l'inégalité de leur pesanteur spécifique, et de plusieurs autres circonstances, qui s'opposent à l'intimité et à l'égalité parfaite du mélange. Comme les parties constituantes de ces vapeurs métalliques, sont dans un état de division bien plus grande que dans l'état de fusion, elles se joindroient et se réuniroient de bien plus près et plus facilement. Enfin, on arriveroit peut-être par ce moyen à la connoissance d'un fait général, et que plusieurs bonnes raisons me font soupçonner depuis long-tems, c'est qu'il y auroit pénétration dans tous les alliages faits de cette manière, et que leur pesanteur spécifique seroit toujours plus grande que la somme des pesanteurs spécifiques des matières dont ils seroient composés; car la pénétration n'est qu'un dégré plus grand d'in-

timité, et l'intimité, toutes choses égales d'ailleurs, sera d'autant plus grande que les matières seront dans un état de division plus parfaite.

En réfléchissant sur l'appareil des vaisseaux qu'il faudroit employer pour recevoir et recueillir ces vapeurs métalliques, il m'est venu une idée qui me paroît trop utile pour ne la pas publier; elle est aussi trop aisée à réaliser, pour que les bons chimistes ne la saisissent pas. Je l'ai même communiquée à quelques-uns d'entr'eux, qui m'en ont paru très-satisfaits. Cette idée est de geler le mercure dans ce climat-ci, et avec un dégré de froid beaucoup moindre que celui des expériences de Pétersbourg ou de Sibérie : il ne faut pour cela que recevoir la vapeur du mercure, qui est le mercure même volatilisé par une très-médiocre chaleur dans une cucurbite, ou dans un vase auquel on donnera un certain dégré de froid artificiel; ce mercure en vapeurs, c'est-à-dire, extrêmement divisé, offrira à l'action de ce froid des surfaces si grandes et des masses si petites, qu'au lieu de 187 dégrés de froid qu'il faut pour geler le mercure en masse, il n'en faudroit peut-être que 18 ou 20 dégrés, peut-être même moins pour le geler en vapeurs. Je

recommande

recommande cette expérience importante à tous ceux qui travaillent de bonne foi à l'avancement des sciences.

Je pourrois ajouter à ces usages principaux du miroir d'Archimède, plusieurs autres usages particuliers ; mais j'ai cru devoir me borner à ceux qui m'ont paru les plus utiles et les moins difficiles à réduire en pratique. Néanmoins, je crois devoir joindre ici quelques expériences que j'ai faites sur la transmission de la lumière à travers les corps transparens, et donner en même tems quelques idées nouvelles, sur les moyens d'appercevoir de loin les objets à l'œil simple, ou par le moyen d'un miroir semblable à celui dont les anciens ont parlé, par l'effet duquel on appercevoit du port d'Alexandrie les vaisseaux, d'aussi loin que la courbure de la terre pouvoit le permettre.

Tous les physiciens savent aujourd'hui qu'il y a trois causes qui empêchent la lumière de se réunir dans un point, lorsque ses rayons ont traversé le verre objectif d'une lunette ordinaire. La première, est la courbure sphérique de ce verre, qui répand une partie des rayons dans un espace terminé par une courbe. La seconde, est l'angle sous lequel nous paroît à l'œil simple l'objet que

nous observons ; car la largeur du foyer de l'objectif a toujours, à très-peu près, pour diamètre une ligne égale à la corde de l'arc qui mesure cet angle. La troisième, est la différente réfrangibilité de la lumière ; car les rayons les plus réfrangibles ne se rassemblent pas dans le même lieu où se rassemblent les rayons les moins réfrangibles.

On peut remédier à l'effet de la première cause, en substituant, comme Descartes l'a proposé, des verres elliptiques ou hyperboliques aux verres sphériques. On remēdie à l'effet de la seconde par le moyen d'un second verre placé au foyer de l'objectif, dont le diamètre est à peu près égal à la largeur de ce foyer, et dont la surface est travaillée sur une sphère d'un rayon fort court. On a trouvé de nos jours le moyen de remédier à la troisième, en faisant des lunettes qu'on appelle *achromatiques*, et qui sont composées de deux sortes de verres qui dispersent différemment les rayons colorés, de manière que la dispersion de l'un est corrigée par la dispersion de l'autre, sans que la réfraction générale moyenne, qui constitue la lunette, soit anéantie. Une lunette de 3 pieds $\frac{1}{2}$ de longueur faite sur ce principe, équivaut pour l'effet aux an-

ciennes lunettes de 25 pieds de longueur.

Au reste, le remède à l'effet de la première cause, est demeuré tout à fait inutile jusqu'à ce jour, parce que l'effet de la dernière étant beaucoup plus considérable, influe si fort sur l'effet total, qu'on ne pouvoit rien gagner à substituer des verres hyperboliques ou elliptiques à des verres sphériques, et que cette substitution ne pouvoit devenir avantageuse que dans le cas où l'on pourroit trouver le moyen de corriger l'effet de la différente réfrangibilité des rayons de la lumière ; il semble donc qu'aujourd'hui l'on feroit bien de combiner les deux moyens, et de substituer dans les lunettes achromatiques des verres elliptiques aux sphériques.

Pour rendre ceci plus sensible, supposons que l'objet qu'on observe soit un point lumineux sans étendue, telle qu'est une étoile fixe par rapport à nous ; il est certain qu'avec un objectif, par exemple, de 30 pieds de foyer, toutes les images de ce point lumineux, s'étendront en forme de courbe au foyer de ce verre s'il est travaillé sur une sphère, et qu'au contraire elles se réuniront en un point si ce verre est hyperbolique ; mais si l'objet qu'on observe a une certaine étendue, comme la lune qui occupe environ

un demi-dégré d'espace à nos yeux, alors l'image de cet objet occupera un espace d'environ trois pouces de diamètre au foyer de l'objectif de 30 pieds, et l'aberration causée par la sphéricité produisant une confusion dans un point lumineux quelconque, elle la produit de même sur tous les points lumineux du disque de la lune, et par conséquent la défigure en entier. Il y auroit donc dans tous les cas beaucoup d'avantage à se servir de verres elliptiques ou hyperboliques pour de longues lunettes, puisqu'on a trouvé le moyen de corriger en grande partie le mauvais effet produit par la différente réfrangibilité des rayons.

Il suit de ce que nous venons de dire, que si l'on veut faire une lunette de 30 pieds pour observer la lune et la voir en entier, le verre oculaire doit avoir au moins 3 pouces de diamètre pour recueillir l'image entière que produit l'objectif à son foyer, et que si on vouloit observer cet astre avec une lunette de 60 pieds, l'oculaire doit avoir au moins six pouces de diamètre, parce que la corde de l'arc qui mesure l'angle sous lequel nous paroît la lune, est dans ce cas de trois pouces et de six pouces à peu près; aussi les astronomes ne font jamais

usage de lunettes qui renferment le disque entier de la lune, parce qu'elles grossiroient trop peu : mais si on veut observer Vénus avec une lunette de 60 pieds, comme l'angle sous lequel elle nous paroît n'est que d'environ 60 secondes, le verre oculaire pourra n'avoir que 4 lignes de diamètre, et si on se sert d'un objectif de 120 pieds, un oculaire de 8 lignes de diamètre suffiroit pour réunir l'image entière que l'objectif forme à son foyer.

De-là on voit que quand même les rayons de lumière seroient également réfrangibles, on ne pourroit pas faire d'aussi fortes lunettes pour voir la lune en entier que pour voir les autres planètes, et que plus une planète est petite à nos yeux, et plus nous pouvons augmenter la longueur de la lunette avec laquelle ou peut la voir en entier. Dès-lors on conçoit bien que dans cette même supposition des rayons également réfrangibles, il doit y avoir une certaine longueur déterminée plus avantageuse qu'aucune autre pour telle ou telle planète, et que cette longueur de la lunette dépend non seulement de l'angle sous lequel la planète paroît à notre œil, mais encore de la quantité de lumière dont elle est éclairée.

Dans les lunettes ordinaires, les rayons de la lumière étant différemment réfrangibles, tout ce qu'on pourroit faire dans cette vue pour les perfectionner ne seroit pas fort avantageux, parce que sous quelqu'angle que paroisse à notre œil l'objet ou l'astre que nous voulons observer, et quelque intensité de lumière qu'il puisse avoir, les rayons ne se rassembleront jamais dans le même endroit; plus la lunette sera longue, plus il y aura d'intervalle (1) entre le foyer des rayons rouges et celui des rayons violets, et par conséquent plus sera confuse l'image de l'objet observé.

On ne peut donc perfectionner les lunettes par réfraction qu'en cherchant, comme on l'a fait, les moyens de corriger cet effet de la différente réfrangibilité, soit en composant la lunette de verres de différente densité, soit par d'autres moyens particuliers, et qui seroient différens selon les differens objets et les différentes circonstances : supposons, par exemple, une courte lunette composée de deux verres, l'un convexe et l'autre concave des deux côtés, il

---

(1) Cet intervalle est d'un pied sur 27 de foyer.

est certain que cette lunette peut se réduire à une autre, dont les deux verres soient plans d'un côté, et travaillés de l'autre côté sur des sphères dont le rayon seroit une fois plus court que celui des sphères sur lesquelles auroient été travaillés les verres de la première lunette. Maintenant, pour éviter une grande partie de l'effet de la différente réfrangibilité des rayons, on peut faire cette seconde lunette d'une seule pièce de verre massif, comme je l'ai fait éxécuter avec deux morceaux de verre blanc, l'un de deux pouces et demi de longueur, et l'autre d'un pouce et demi; mais alors la perte de la transparence est un plus grand inconvénient que celui de la différente réfrangibilité qu'on corrige par ce moyen; car ces deux petites lunettes massives de verre, sont plus obscures qu'une petite lunette ordinaire du même verre et des mêmes dimensions, elles donnent à la vérité moins d'iris, mais elles n'en sont pas meilleures; et si on les faisoit plus longues, toujours en verre massif, la lumière après avoir traversé cette épaisseur de verre, n'auroit plus assez de force pour peindre l'image de l'objet à notre œil. Ainsi pour faire des lunettes de 10 ou 20 pieds, je ne vois que l'eau qui ait assez

de transparence pour laisser passer la lumière sans l'éteindre en entier dans cette grande épaisseur : en employant donc de l'eau pour remplir l'intervalle entre l'objectif et l'oculaire, on diminuera en partie l'effet de la différente réfrangibilité (1), parce que celle de l'eau approche plus de celle du verre que celle de l'air, et si on pouvoit, en chargeant l'eau de différens sels, lui donner le même dégré de puissance réfringente qu'au verre, il n'est pas douteux qu'on ne corrigeât davantage par ce moyen l'effet de la différente réfrangibilité des rayons. Il s'agiroit donc d'employer une liqueur transparente qui auroit à peu près la même puis-

---

(1) M. de la Lande, l'un de nos plus savans astronomes, après avoir lu cet article, a bien voulu me communiquer quelques remarques qui m'ont paru très-justes et dont j'ai profité. Seulement je ne suis pas d'accord avec lui sur ces lunettes remplies d'eau ; il croit qu'on diminueroit très-peu la différente réfrangibilité, parce que l'eau disperse les rayons colorés d'une manière différente du verre, et qu'il y auroit des couleurs qui proviendroient de l'eau et d'autres du verre. Mais en se servant du verre le moins dense, et en augmentant par les sels la densité de l'eau, on rapprocheroit de très-près leur puissance réfractive.

sance réfrangible que le verre ; car alors il sera sûr que les deux verres avec cette liqueur entre deux, corrigeront en partie l'effet de la différente réfrangibilité des rayons, de la même façon qu'elle est corrigée dans la petite lunette massive dont je viens de parler.

Suivant les expériences de M. Bouguer, une ligne d'épaisseur de verre détruit $\frac{2}{7}$ de la lumière, et par conséquent la diminution s'en feroit dans la proportion suivante :

Epaiss. 1, 2, 3, 4, 5, 6 lignes ;
Dimin. $\frac{2}{7}$, $\frac{10}{49}$, $\frac{50}{343}$, $\frac{250}{2401}$, $\frac{1250}{16807}$, $\frac{6250}{117649}$, en sorte que par la somme de ces six termes on trouveroit que la lumière qui passe à travers six lignes de verre, auroit déjà perdu $\frac{102024}{117649}$, c'est-à-dire, environ $\frac{10}{11}$ de sa quantité. Mais il faut considérer que M. Bouguer s'est servi de verres bien peu transparens, puisqu'il a vu qu'une ligne d'épaisseur de ces verres détruisoit $\frac{2}{7}$ de la lumière. Par les expériences que j'ai faites sur différentes espèces de verre blanc, il m'a paru que la lumière diminuoit beaucoup moins. Voici ces expériences qui sont assez faciles à faire, et que tout le monde est en état de répéter.

Dans une chambre obscure dont les murs étoient noircis, qui me servoit à faire des

expériences d'optique, j'ai fait allumer une bougie de cinq à la livre; la chambre étoit fort vaste, et la lumière de la bougie étoit la seule dont elle fût éclairée. J'ai d'abord cherché à quelle distance je pouvois lire un caractère d'impression, tel que celui de la gazette de Hollande, à la lumière de cette bougie, et j'ai trouvé que je lisois assez facilement ce caractère à 24 pieds 4 pouces de distance de la bougie. Ensuite ayant placé devant la bougie, à deux pouces de distance, un morceau de verre provenant d'une glace de Saint-Gobin, réduite à une ligne d'épaisseur, j'ai trouvé que je lisois encore tout aussi facilement à 22 pieds 9 pouces, et en substituant à cette glace d'une ligne d'épaisseur un autre morceau de 2 lignes d'épaisseur et du même verre, j'ai lu aussi facilement à 21 pieds de distance de la bougie. Deux de ces mêmes glaces de 2 lignes d'épaisseur jointes l'une contre l'autre et mises devant la bougie, en ont diminué la lumière au point que je n'ai pu lire avec la même facilité qu'à 17 pieds $\frac{1}{2}$ de distance de la bougie. Et enfin avec trois glaces de 2 lignes d'épaisseur chacune, je n'ai lu qu'à la distance de 15 pieds. Or la lumière de la bougie diminuant comme le carré de la

distance augmente, sa diminution auroit été dans la progression suivante, s'il n'y avoit point eu de glaces interposées.

$\overline{24\frac{1}{3}}^2$. $\overline{22\frac{3}{4}}^2$. $\overline{21}^2$. $\overline{17\frac{1}{2}}^2$. $\overline{15}^2$. ou

$592\frac{1}{9}$. $517\frac{9}{16}$. 441. $306\frac{1}{4}$. 225.

Donc les pertes de la lumière par l'interposition des glaces sont dans la progression suivante : $84\frac{79}{144}$. 151. $285\frac{7}{9}$. $367\frac{1}{4}$.

D'où l'on doit conclure qu'une ligne d'épaisseur de ce verre, ne diminue la lumière que de $\frac{84}{592}$ ou d'environ $\frac{1}{7}$; que deux lignes d'épaisseur la diminuent de $\frac{151}{592}$, pas tout à fait de $\frac{1}{4}$; et trois glaces de 2 lignes de $\frac{367}{592}$, c'est-à-dire, moins de $\frac{2}{3}$.

Comme ce résultat est très-différent de celui de M. Bouguer, et que néanmoins je n'avois garde de douter de la vérité de ses expériences, je répétai les miennes en me servant de verre à vitre commun, je choisis des morceaux d'une épaisseur égale, de $\frac{3}{4}$ de ligne chacun. Ayant lu de même à 24 pieds 4 pouces de distance de la bougie, l'interposition d'un de ces morceaux de verre me fit rapprocher à 21 pieds $\frac{1}{2}$; avec deux morceaux interposés et appliqués l'un sur l'autre, je ne pouvois plus lire qu'à 18 pieds $\frac{1}{4}$, et avec trois morceaux à 16 pieds ; ce qui,

comme l'on voit, se rapproche de la détermination de M. Bouguer ; car la perte de la lumière, en traversant ce verre de $\frac{3}{4}$ de ligne, étant ici de $592\frac{1}{4} - 462\frac{1}{4} = 130$, le résultat $\frac{130}{592\frac{1}{4}}$ ou $\frac{65}{296}$, ne s'éloigne pas beaucoup de $\frac{3}{14}$, à quoi l'on doit réduire les $\frac{2}{7}$ donnés par M. Bouguer pour une ligne d'épaisseur, parce que mes verres n'avoient que $\frac{3}{4}$ de ligne, car $3 : 14 :: 65 : 303\frac{1}{3}$, terme qui ne diffère pas beaucoup de 296.

Mais avec du verre communément appelé *verre de Bohême*, j'ai trouvé par les mêmes essais, que la lumière ne perdoit qu'un huitième en traversant une épaisseur d'une ligne, et qu'elle diminuoit dans la progression suivante :

Epaiss. 1, 2, 3, 4, 5, 6, ... n.

Dimin. $\frac{1}{8}$. $\frac{7}{64}$. $\frac{49}{512}$. $\frac{343}{4096}$. $\frac{2401}{32768}$. $\frac{16807}{262144}$.

—0 —1 —2 —3 —4 —5 n—1

ou . . . $\frac{7}{8.^1}\ \frac{7}{8.^2}\ \frac{7}{8.^3}\ \frac{7}{8.^4}\ \frac{7}{8.^5}\ \frac{7}{8.^6}\ \frac{7}{8.^n}$.

Prenant la somme de ces termes, on aura le total de la diminution de la lumière à travers une épaisseur de verre d'un nombre donné de lignes ; par exemple, la somme des six premiers termes est $\frac{144495}{262144}$. Donc la lumière ne diminue que d'un peu plus de

moitié en traversant une épaisseur de six lignes de verre de Bohême, et elle en perdroit encore moins, si au lieu de trois morceaux de deux lignes appliqués l'un sur l'autre, elle n'avoit à traverser qu'un seul morceau de six lignes d'épaisseur.

Avec le verre que j'ai fait fondre en masse épaisse, j'ai vu que la lumière ne perdoit pas plus à travers 4 pouces $\frac{1}{2}$ d'épaisseur de ce verre, qu'à travers une glace de Saint-Gobin de deux lignes $\frac{1}{2}$ d'épaisseur; il me semble donc qu'on pourroit en conclure, que la transparence de ce verre étant à celle de cette glace, comme 4 pouces $\frac{1}{2}$ sont à 2 lignes $\frac{1}{2}$, ou 54 à 2 $\frac{1}{2}$, c'est-à-dire, plus de vingt-une fois plus grande, on pourroit faire de très-bonnes petites lunettes massives de 5 ou 6 pouces de longueur avec ce verre.

Mais pour des lunettes longues, on ne peut employer que de l'eau, et encore est-il à craindre que le même inconvenient ne subsiste, car quelle sera l'opacité qui résultera de cette quantité de liqueur, que je suppose remplir l'intervalle entre les deux verres? Plus les lunettes seront longues, et plus on perdra de lumière; en sorte qu'il paroît au premier coup d'œil qu'on ne peut pas se servir de ce moyen, sur-tout pour les lu-

nettes un peu longues ; car en suivant ce que dit M. Bouguer dans son Essai d'optique, sur la gradation de la lumière, 9 pieds 7 pouces d'eau de mer, font diminuer la lumière dans le rapport de 14 à 5; ou, ce qui revient à peu près au même, supposons que dix pieds d'épaisseur d'eau diminuent la lumière dans le rapport de 3 à 1 ; alors vingt pieds d'épaisseur d'eau la diminueront dans le rapport de 9 à 1 ; trente pieds la diminueront dans celui de 27 à 1, etc. Il paroît donc qu'on ne pourroit se servir de ces longues lunettes pleines d'eau, que pour observer le soleil, et que les autres astres n'auroient pas assez de lumière, pour qu'il fût possible de les appercevoir à travers une épaisseur de 20 à 30 pieds de liqueur intermédiaire.

Cependant si l'on fait attention qu'en ne donnant qu'un pouce ou un pouce et demi d'ouverture à un objectif de 30 pieds, on ne laisse pas d'appercevoir très-nettement les planètes dans les lunettes ordinaires de cette longueur, on doit penser, qu'en donnant un plus grand diamètre à l'objectif, on augmenteroit la quantité de lumière dans la raison du carré de ce diamètre, et par conséquent si un pouce d'ouverture suffit pour

voir distinctement un astre dans une lunette ordinaire, $\sqrt{3}$ pouces d'ouverture, c'est-à-dire, 21 lignes environ de diamètre suffiront pour qu'on le voie aussi distinctement à travers une épaisseur de dix pieds d'eau; et qu'avec un verre de 3 pouces de diamètre, on le verroit également à travers une épaisseur de 20 pieds d'eau; qu'avec un verre de $\sqrt{27}$ ou 5 pouces $\frac{1}{4}$ de diamètre, on le verroit à travers une épaisseur de 30 pieds, et qu'il ne faudroit qu'un verre de 9 pouces de diamètre pour une lunette remplie de 40 pieds d'eau, et un verre de 27 pouces pour une lunette de 60 pieds.

Il semble donc qu'on pourroit, avec espérance de réussir, faire construire une lunette sur ces principes; car en augmentant le diamètre de l'objectif, on regagne en partie la lumière que l'on perd par le défaut de transparence de la liqueur.

On ne doit pas craindre que les objectifs, quelque grands qu'ils soient, fassent une trop grande partie de la sphère sur laquelle ils seront travaillés, et que par cette raison les rayons de la lumière ne puissent se réunir exactement; car en supposant même ces objectifs sept ou huit fois plus grands que je ne les ai déterminés, ils ne

feroient pas encore, à beaucoup près, une assez grande partie de leur sphère pour ne pas réunir les rayons avec exactitude.

Mais ce qui ne me paroît pas douteux, c'est qu'une lunette construite de cette façon, seroit très-utile pour observer le soleil; car en la supposant même longue de cent pieds, la lumière de cet astre ne seroit encore que trop forte après avoir traversé cette épaisseur d'eau, et on observeroit à loisir et aisément la surface de cet astre immédiatement, sans qu'il fût nécessaire de se servir de verres enfumés, ou d'en recevoir l'image sur un carton; avantage qu'aucune autre espèce de lunette ne peut avoir.

Il y auroit seulement quelque petite différence dans la construction de cette lunette solaire, si l'on veut qu'elle nous présente la face entière du soleil, car en la supposant longue de cent pieds, il faudra, dans ce cas, que le verre oculaire ait au moins dix pouces de diamètre, parce que le soleil occupant plus d'un demi-dégré céleste, l'image formée par l'objectif à son foyer à cent pieds, aura au moins cette longueur de dix pouces, et que pour la réunir toute entière, il faudra un oculaire de cette largeur, auquel on ne donneroit que vingt

pouces

pouces de foyer pour le rendre aussi fort qu'il se pourroit. Il faudroit aussi que l'objectif, ainsi que l'oculaire, eût dix pouces de diamètre, afin que l'image de l'astre et l'image de l'ouverture de la lunette se trouvassent d'égale grandeur au foyer.

Quand même cette lunette que je propose ne serviroit qu'à observer exactement le soleil, ce seroit déja beaucoup; il seroit, par exemple, fort curieux de pouvoir reconnoître s'il y a dans cet astre des parties plus ou moins lumineuses que d'autres, s'il y a sur sa surface des inégalités, et de quelle espèce elles seroient, si les taches flottent sur sa surface (1) ou si elles y sont toutes constamment attachées, &c.

---

(1) M. de la Lande m'a fait sur ceci la remarque qui suit : « Il est constant, dit-il, qu'il n'y a sur le soleil que des taches qui changent de forme et disparoissent entièrement, mais qui ne changent point de place, si ce n'est par la rotation du soleil ; sa surface est très-unie et homogène ». Ce savant astronome pouvoit même ajouter que ce n'est que par le moyen de ces taches, toujours supposées fixes, qu'on a déterminé le tems de la révolution du soleil sur son axe : mais ce point d'astronomie physique ne me paroît pas encore absolument démontré ; car ces taches qui toutes changent de figure, pourroient bien aussi quelquefois changer de lieu.

La vivacité de sa lumière nous empêche de l'observer à l'œil simple, et la différente réfrangibilité de ses rayons rend son image confuse lorsqu'on la reçoit au foyer d'un objectif sur un carton, aussi la surface du soleil nous est-elle moins connue que celle des autres planètes. Cette différente réfrangibilité des rayons ne seroit pas à beaucoup près entièrement corrigée dans cette longue lunette remplie d'eau : mais si cette liqueur pouvoit, par l'addition des sels, être rendue aussi dense que le verre, ce seroit alors la même chose que s'il n'y avoit qu'un seul verre à traverser, et il me semble qu'il y auroit plus d'avantage à se servir de ces lunettes remplies d'eau, que de lunettes ordinaires avec des verres enfumés.

Quoi qu'il en soit, il est certain qu'il faut pour observer le soleil une lunette bien différente de celles dont on doit se servir pour les autres astres, et il est encore très-certain qu'il faut pour chaque planète une lunette particulière, et proportionnée à leur intensité de lumière, c'est-à-dire, à la quantité réelle de lumière dont elles nous paroissent éclairées. Dans toutes les lunettes il faudroit donc l'objectif aussi grand, et l'oculaire aussi fort qu'il est possible, et en

même tems proportionner la distance du foyer à l'intensité de la lumière de chaque planète. Par exemple, Vénus et Saturne sont deux planètes dont la lumière est fort différente; lorsqu'on les observe avec la même lunette, on augmente également l'angle sous lequel on les voit ; dès-lors la lumière totale de la planète paroît s'étendre sur toute sa surface, d'autant plus qu'on la grossit davantage ; ainsi, à mesure qu'on agrandit son image, on la rend sombre, à peu près dans la proportion du carré de son diamètre; Saturne ne peut donc, sans devenir obscur, être observé avec une lunette aussi forte que Vénus. Si l'intensité de celle-ci permet de la grossir cent ou deux cents fois avant de devenir sombre, l'autre ne souffrira peut-être pas la moitié ou le tiers de cette augmentation, sans devenir tout-à-fait obscure. Il s'agit donc de faire une lunette pour chaque planète, proportionnée à leur intensité de lumière, et pour le faire avec plus d'avantage, il me semble qu'il n'y faut employer qu'un objectif d'autant plus grand, et d'un foyer d'autant moins long que la planète a moins de lumière. Pourquoi, jusqu'à ce jour, n'a-t-on pas fait des objectifs de deux et trois pieds de diamètre ?

L'aberration des rayons, causée par la sphéricité des verres, en est la seule cause; elle produit une confusion qui est comme le carré du diamètre de l'ouverture (1), et c'est par cette raison que les verres sphériques, qui sont très-bons avec une petite ouverture, ne valent plus rien quand on l'augmente; on a plus de lumière, mais moins de distinction et de netteté. Néanmoins les verres sphériques larges sont très-bons pour faire des lunettes de nuit. Les anglais ont construit des lunettes de cette espèce, et ils s'en servent avec grand avantage, pour voir de fort loin les vaisseaux dans une nuit obscure (2).

Mais maintenant que l'on sait corriger en grande partie les effets de la différente réfrangibilité des rayons, il me semble qu'il faudroit s'attacher à faire des verres elliptiques ou hyperboliques qui ne produiroient pas cette aberration causée par la sphéricité, et qui par conséquent pourroient être trois ou quatre fois plus larges que les verres

---

(1) Smith's Optick. *Boock. 2, cap. VII, art.* 346.

(2) Depuis plus de vingt ans ces lunettes de nuit sont aussi en usage dans la marine française.

SONNINI.

sphériques. Il n'y a que ce moyen d'augmenter à nos yeux la quantité de lumière que nous envoient les planètes, car nous ne pouvons pas porter sur les planètes une lumière additionnelle comme nous le faisons sur les objets que nous observons au microscope, mais il faut au moins employer le plus avantageusement qu'il est possible, la quantité de lumière dont elles sont éclairées, en la recevant sur une surface aussi grande qu'il se pourra. Cette lunette hyperbolique qui ne seroit composée que d'un seul grand verre objectif, et d'un oculaire proportionné, exigeroit une matière de la plus grande transparence. On réuniroit par ce moyen tous les avantages possibles, c'est-à-dire, ceux des lunettes achromatiques à celui des lunettes elliptiques ou hyperboliques, et l'on mettroit à profit toute la quantité de lumière que chaque planète réfléchit à nos yeux. Je puis me tromper, mais ce que je propose me paroît assez fondé pour en recommander l'exécution aux personnes zélées pour l'avancement des sciences.

Me laissant aller à ces espèces de rêveries, dont quelques-unes néanmoins se réaliseront un jour, et que je ne publie que dans cette espérance, j'ai songé au miroir du port

d'Alexandrie, dont quelques auteurs anciens ont parlé, et par le moyen duquel on voyoit de très-loin les vaisseaux en pleine mer. Le passage le plus positif qui me soit tombé sous les yeux est celui que je vais rapporter : *Alexandria.... in Pharo verò erat speculum e ferro* sinico. *Per quod à longè videbantur naves Græcorum advenientes ; sed paulò postquam Islamismus invaluit, scilicet tempore califatûs Walid-fil : Abdi-l-melec, Christiani, fraude adhibitâ illud deleverunt.* Abu-l-feda, etc. Descriptio Ægypti.

J'ai pensé 1°. que ce miroir par lequel on voyoit de loin les vaisseaux arriver, n'étoit pas impossible ; 2°. que même sans miroir ni lunette, on pourroit par de certaines dispositions obtenir le même effet, et voir depuis le port les vaisseaux peut-être d'aussi loin que la courbure de la terre le permet. Nous avons dit que les personnes qui ont bonne vue, apperçoivent les objets éclairés par le soleil à plus de trois mille quatre cents fois leur diamètre, et en même tems nous avons remarqué que la lumière intermédiaire nuisoit si fort à celle des objets éloignés, qu'on appercevoit la nuit un objet lumineux de dix, vingt et peut-être cent fois plus de distance qu'on ne le voit pendant

le jour. Nous savons que du fond d'un puits très-profond l'on voit les étoiles en plein jour (1), pourquoi donc ne verroit-on pas même les vaisseaux éclairés des rayons du soleil, en se mettant au fond d'une longue galerie fort obscure, et située sur le bord de la mer, de manière qu'elle ne recevroit aucune lumière que celle de la mer lointaine et des vaisseaux qui pourroient s'y trouver; cette galerie n'est qu'un puits horizontal qui feroit le même effet pour la vue des vaisseaux, que le puits vertical pour la vue des étoiles, et cela me paroît si simple, que je suis étonné qu'on n'y ait pas songé. Il me semble qu'en prenant, pour faire l'observation, les heures du jour où le soleil seroit derrière la galerie, c'est-à-dire le tems où les vaisseaux seroient bien éclairés, on les verroit du fond de cette galerie obscure, dix fois au moins mieux qu'on ne peut les voir en pleine lumière. Or, comme nous l'avons dit, on distingue aisément un homme

---

(1) Aristote est je crois le premier qui ait fait mention de cette observation, comme il paroît par ce passage : *Manu enim admotâ aut per fisculam longiùs cernet. Quidam ex forcis puteisque interdum stellas conspiciunt.*

ou un cheval à une lieue de distance lorsqu'ils sont éclairés des rayons du soleil ; et en supprimant la lumière intermédiaire qui nous environne et offusque nos yeux, nous les verrions au moins dix fois plus loin, c'est-à-dire, à dix lieues : donc on verroit les vaisseaux qui sont beaucoup plus gros, d'aussi loin que la courbure de la terre le permettroit (1), sans autre instrument que nos yeux.

Mais un miroir concave d'un assez grand diamètre, et d'un foyer quelconque, placé au fond d'un long tuyau noirci, feroit, pendant le jour, à peu près le même effet que nos grands objectifs de même diamètre et de même foyer feroient pendant la nuit,

---

(1) La courbure de la terre pour un dégré ou 25 lieues de 2,283 toises, est de 2,988 pieds ; elle croît comme le carré des distances, ainsi pour 5 lieues elle est vingt-cinq fois moindre, c'est-à-dire, d'environ 120 pieds. Un vaisseau qui a plus de 120 pieds de mâture, peut donc être vu de cinq lieues, étant même au niveau de la mer ; mais si l'on s'élevoit de 120 pieds au-dessus du niveau de la mer, on verroit de cinq lieues le corps entier du vaisseau jusqu'à la ligne de l'eau, et en s'élevant encore davantage, on pourroit appercevoir le haut des mâts de plus de dix lieues.

et c'étoit probablement un de ces miroirs concaves d'acier poli, (*e ferro sinico*) qu'on avoit établi au port d'Alexandrie (1), pour voir de loin arriver les vaisseaux grecs. Au reste, si ce miroir d'acier ou de fer poli a réellement existé, comme il y a toute apparence, on ne peut refuser aux anciens la gloire de la première invention des télescopes, car ce miroir de métal poli ne pouvoit avoir d'effet qu'autant que la lumière réfléchie par sa surface, étoit recueillie par un autre miroir concave placé à son foyer, et c'est en cela que consiste l'essence du télescope et la facilité de sa construction. Néanmoins cela n'ôte rien à la gloire du grand Newton, qui, le premier, a ressuscité cette invention entièrement oubliée. Il paroît même que ce sont ses belles découvertes sur la différente réfrangibilité des rayons de la lumière qui l'ont conduit à celle du télescope. Comme les rayons de la lumière sont par leur nature différemment réfrangibles, il étoit fondé à croire qu'il n'y avoit nul moyen de cor-

(1) De tems immémorial les chinois et sur-tout les japonois, savent travailler et polir l'acier en grand et en petit volume, et c'est ce qui m'a fait penser qu'on doit interpréter *e ferro sinico* par acier poli.

peu grandes, il ne faut qu'une légère courbure, et que toute courbure régulière y est à peu près également convenable ; j'ai imaginé de prendre des glaces de miroir ordinaire d'un pied et demi, de deux pieds et trois pieds de diamètre, de les faire arrondir, et de les soutenir sur un cercle de fer bien égal et bien tourné, après avoir fait dans le centre de la glace un trou de deux ou trois lignes de diamètre pour y passer une vis (1), dont les pas sont très-fins, et qui entre dans un petit écrou posé de l'autre côté de la glace. En serrant cette vis, j'ai courbé assez les glaces de trois pieds, pour brûler depuis 50 pieds jusqu'à 30, et les glaces de 18 pouces ont brûlé à 25 pieds ; mais ayant répété plusieurs fois ces expériences, j'ai cassé les glaces de trois pieds et de deux pieds, et il ne m'en reste qu'une de 18 pouces que j'ai gardée pour modèle de ce miroir (2).

---

(1) Voyez les *planches X, XI et XII.*

(2) Ces glaces de 3 pieds ont mis le feu à des matières légères jusqu'à 50 pieds de distance, et alors elles n'avoient plié que d'une ligne $\frac{5}{8}$; pour brûler à 40 pieds, il falloit les faire plier de 2 lignes ; pour brûler à 30 pieds, de 2 lignes $\frac{5}{4}$, et c'est en voulant les faire brûler à 20 pieds qu'elles se sont cassées.

Ce qui fait casser ces glaces si aisément, c'est le trou qui est au milieu ; elles se courberoient beaucoup plus sans rompre, s'il n'y avoit point de solution de continuité, et qu'on pût les presser également sur toute la surface : cela m'a conduit à imaginer de les faire courber par le poids même de l'atmosphère ; et pour cela il ne faut que mettre une glace circulaire sur une espèce de tambour de fer ou de cuivre, et ajouter à ce tambour une pompe pour en tirer de l'air ; on fera de cette manière courber la glace plus ou moins, et par conséquent elle brûlera à de plus et moins grandes distances.

Il y auroit encore un autre moyen ; ce seroit d'ôter l'étamage dans le centre de la glace, de la largeur de neuf ou dix lignes, façonner avec une molette cette partie du centre en portion de sphère, comme un verre convexe, d'un pouce de foyer, mettre dans le tambour une petite mèche soufrée ; il arriveroit que quand on présenteroit ce miroir au soleil, les rayons transmis à travers cette partie du centre de la glace et réunis au foyer d'un pouce, allumeroient la mèche soufrée dans le tambour ; cette mèche en brûlant absorberoit de l'air, et par con-

séquent le poids de l'atmosphère feroit plier la glace plus ou moins, selon que la mèche soufrée brûleroit plus ou moins de tems. Ce miroir seroit fort singulier, parce qu'il se courberoit de lui-même à l'aspect du soleil, sans qu'il fût nécessaire d'y toucher; mais l'usage n'en seroit pas facile, et c'est pour cette raison que je ne l'ai pas fait exécuter, la seconde manière étant préférable à tous égards.

Ces miroirs d'une seule pièce à foyer mobile, peuvent servir à mesurer plus exactement, que par aucun autre moyen, la différence des effets de la chaleur du soleil reçue dans des foyers plus ou moins grands. Nous avons vu que les grands foyers font toujours proportionnellement beaucoup plus d'effet que les petits, quoique l'intensité de chaleur soit égale dans les uns et les autres; on auroit ici, en contractant successivement les foyers, toujours une égale quantité de lumière ou de chaleur, mais dans des espaces successivement plus petits; et au moyen de cette quantité constante, on pourroit déterminer par l'expérience le *minimum* de l'espace du foyer, c'est-à-dire, l'étendue nécessaire, pour qu'avec la même quantité de lumière on eût le plus grand effet, cela

nous conduiroit en même tems à une estimation plus précise de la déperdition de la chaleur dans les différentes substances, sous un même volume ou dans une égale étendue.

A cet usage près, il m'a paru que ces miroirs d'une seule pièce à foyer mobile étoient plus curieux qu'utiles; celui qui agit seul et se courbe à l'aspect du soleil, est assez ingénieusement conçu pour avoir place dans un cabinet de physique.

I I.

Miroirs d'une seule pièce pour brûler très-vivement à des distances médiocres et à de petites distances.

J'ai cherché les moyens de courber régulièrement de grandes glaces, et après avoir fait construire deux fourneaux différens qui n'ont pas réussi, je suis parvenu à en faire un troisième (1), dans lequel j'ai courbé très-régulièrement des glaces circulaires de trois, quatre et quatre pieds et demi de diamètre, j'en ai même fait courber deux de 56 pouces, mais quelque précaution qu'on ait prise pour laisser refroidir lentement ces

(1) Voyez les *planches I, II, III, IV, V et VI.*

grandes glaces de 56 et 54 pouces de diamètre, et pour les manier doucement, elles se sont cassées en les appliquant sur les moules sphériques que j'avois fait construire pour leur donner la forme régulière et le poli nécessaire ; la même chose est arrivée à trois autres glaces de 48 et 50 pouces de diamètre, et je n'en ai conservé qu'une seule de 46 pouces et deux de 37 pouces. Les gens qui connoissent les arts n'en seront pas surpris, ils savent que les grandes pièces de verre exigent des précautions infinies pour ne pas se fêler au sortir du fourneau où on les laisse recuire et refroidir, ils savent que plus elles sont minces, et plus elles sont sujettes à se fendre, non seulement par le premier coup de l'air, mais encore par ses impressions ultérieures. J'ai vu plusieurs de mes glaces courbées se fendre toutes seules au bout de trois, quatre et cinq mois, quoiqu'elles eussent résisté aux premières impressions de l'air, et qu'on les eût placées sur des moules de plâtre bien séché, sur lesquels la surface concave de ces glaces portoit également par-tout ; mais ce qui m'en a fait perdre un grand nombre, c'est le travail qu'il falloit faire pour leur donner une forme régulière. Ces glaces que j'ai achetées toutes polies

polies à la manufacture du faubourg Saint-Antoine, quoique choisies parmi les plus épaisses, n'avoient que cinq lignes d'épaisseur : en les courbant, le feu leur faisoit perdre en partie leur poli. Leur épaisseur d'ailleurs n'étoit pas bien égale par-tout, et néanmoins il étoit nécessaire pour l'objet auquel je les destinois, de rendre les deux surfaces concave et convexe parfaitement concentriques, et par conséquent de les travailler avec des molettes convexes dans des moules creux, et des molettes concaves sur des moules convexes. De vingt-quatre glaces que j'avais courbées, et dont j'en avois livré quinze à feu M. Passemant, pour les faire travailler par ses ouvriers, je n'en ai conservé que trois; toutes les autres, dont les moindres avoient au moins trois pieds de diamètre, se sont cassées, soit avant d'être travaillées, soit après.

De ces trois glaces que j'ai sauvées, l'une a 46 pouces de diamètre, et les deux autres 37 pouces; elles étoient bien travaillées, leurs surfaces bien concentriques, et par conséquent l'épaisseur bien égale, il ne s'agissoit plus que de les étamer sur leur surface convexe, et je fis pour cela plusieurs essais et un assez grand nombre d'expériences

qui ne me réussirent point. M. de Bernières, beaucoup plus habile que moi dans cet art de l'étamage, vint à mon secours, et me rendit en effet deux de mes glaces étamées ; j'eus l'honneur d'en présenter au roi la plus grande, c'est-à-dire, celle de 46 pouces, et de faire devant sa majesté les expériences de la force de ce miroir ardent qui fond aisément tous les métaux ; on l'a déposé au château de la Muette, dans un cabinet qui est sous la direction du père Noël ; c'est certainement le plus fort miroir ardent qu'il y ait en Europe (1). J'ai déposé au Jardin du roi, dans le cabinet d'histoire naturelle, la glace de 37 pouces de diamètre, dont le foyer est beaucoup plus court que celui du miroir de 46 pouces. Je n'ai pas encore eu le tems d'essayer la force de ce second miroir que je crois aussi très-bon. Je fis dans le tems quelques expériences au château de la Muette, sur la lumière de la lune, reçue par le miroir de 46 pouces, et réfléchie sur un thermomètre très-sensible, je crus

---

(1) On m'a dit que l'étamage de ce miroir, qui a été fait il y a plus de vingt ans, s'étoit gâté, il faudroit le remettre entre les mains de M. de Bernières, qui seul a le secret de cet étamage, pour le bien réparer.

d'abord m'apercevoir de quelque mouvement, mais cet effet ne se soutint pas, et depuis je n'ai pas eu occasion de répéter l'expérience. Je ne sais même si l'on obtiendroit un dégré de chaleur sensible en réunissant les foyers de plusieurs miroirs, et les faisant tomber ensemble sur un thermomètre aplati et noirci ; car il se peut que la lune nous envoie du froid plutôt que du chaud, comme nous l'expliquerons ailleurs. Du reste ces miroirs sont supérieurs à tous les miroirs de réflexion dont on avoit connoissance : ils servent aussi à voir en grand les petits tableaux, et à en distinguer toutes les beautés et tous les défauts ; et si on en fait étamer de pareils dans leur concavité, ce qui seroit bien plus aisé que sur la convexité, ils serviroient à voir les plafonds et autres peintures qui sont trop grandes et trop perpendiculaires sur la tête, pour pouvoir être regardées aisément.

Mais ces miroirs ont l'inconvénient commun à tous les miroirs de ce genre, qui est de brûler en haut, ce qui fait qu'on ne peut travailler de suite à leur foyer, et qu'ils deviennent presque inutiles pour toutes les expériences qui demandent une longue action du feu et des opérations suivies. Néan-

moins en recevant d'abord les rayons du soleil sur une glace plane de quatre pieds et demi de hauteur et d'autant de largeur qui les réfléchit contre ces miroirs concaves, ils sont assez puissans pour que cette perte qui est de la moitié de la chaleur, ne les empêche pas de brûler très-vivement à leur foyer, qui par ce moyen se trouve en bas comme celui des miroirs de réfraction, et auquel par conséquent on pourroit travailler de suite et avec une égale facilité. Seulement il seroit nécessaire que la glace plane et le miroir concave, fussent tous deux montés parallèlement sur un même support, où ils pourroient recevoir également les mêmes mouvemens de direction et d'inclinaison, soit horizontalement, soit verticalement. L'effet que le miroir de 46 pouces de diamètre feroit en bas, n'étant que de moitié de celui qu'il produit en haut, c'est comme si la surface de ce miroir étoit réduite de moitié, c'est-à-dire, comme s'il n'avoit qu'un peu plus de 32 pouces de diamètre au lieu de 46, et cette dimension de 32 pouces de diamètre pour un foyer de 6 pieds, ne laisse pas de donner une chaleur plus grande que celle des lentilles de Tschirnaüs ou du sieur Segard, dont je me suis autrefois

servi, et qui sont les meilleures que l'on connoisse (1).

Enfin par la réunion de ces deux miroirs, on auroit aux rayons du soleil une chaleur immense à leur foyer commun, sur-tout en le recevant en haut, qui ne seroit diminuée que de moitié en le recevant en bas, et qui par conséquent seroit beaucoup plus grande qu'aucune autre chaleur connue, et pourroit produire des effets dont nous n'avons aucune idée.

III.

Lentilles ou Miroirs à l'eau.

Au moyen des glaces courbées et travaillées régulièrement dans leur concavité et sur leur convexité, on peut faire un miroir réfringent, en joignant, par opposition, deux de ces glaces, et en remplissant d'eau tout l'espace qu'elles contiennent.

Dans cette vue, j'ai fait courber deux glaces de 37 pouces de diamètre, et les ai fait user

(1) Voyez le Mémoire que M. Macquer a lu, en 1772, à l'académie des sciences, sur les expériences faites au foyer des grands verres ardens de Tchirnausen. SONNINI.

de 8 ou 9 lignes sur les bords, pour les bien joindre. Par ce moyen, l'on n'aura pas besoin de mastic, pour empêcher l'eau de fuir.

Au zénith du miroir, il faut pratiquer un petit goulot (1), par lequel on en remplira la capacité avec un entonnoir ; et comme les vapeurs de l'eau échauffée par le soleil, pourroient faire casser les glaces, on laissera ce goulot ouvert, pour laisser échapper les vapeurs; et afin de tenir le miroir toujours absolument plein d'eau, on ajustera dans ce goulot une petite bouteille pleine d'eau, et cette bouteille finira elle-même en haut par un goulot étroit, afin que dans les différentes inclinaisons du miroir, l'eau qu'elle contiendra ne puisse pas se répandre en trop grande quantité.

Cette lentille, composée de deux glaces de 37 pouces, chacune de deux pieds et demi de foyer, brûleroit à cinq pieds, si elle étoit de verre; mais l'eau ayant une moindre réfraction que le verre, le foyer sera plus éloigné; il ne laissera pas néanmoins de brûler vivement : j'ai supputé qu'à la distance de 5 pieds $\frac{1}{2}$, cette lentille à l'eau produiroit au moins deux fois autant de chaleur que la lentille du

(1) Voyez la *planche XII.*

Palais-Royal, qui est de verre solide, et dont le foyer est à douze pieds.

J'avois conservé une assez grande épaisseur aux glaces, afin que le poids de l'eau qu'elles devoient renfermer ne pût en altérer la courbure : on pourroit essayer de rendre l'eau plus réfringente, en y faisant fondre des sels ; comme l'eau peut successivement fondre plusieurs sels, et s'en charger en plus grande quantité, qu'elle ne se chargeroit d'un seul sel, il faudroit en fondre de plusieurs espèces, et on rendroit par ce moyen la réfraction de l'eau, plus approchante de celle du verre.

Tel étoit mon projet; mais après avoir travaillé et ajusté ces glaces de 37 pouces, celle du dessous s'est cassée, dès la première expérience, et comme il ne m'en restoit qu'une, j'en ai fait le miroir concave de 37 pouces, dont j'ai parlé dans l'article précédent.

Ces loupes composées de deux glaces sphériquement courbées et remplies d'eau, brûleront en bas, et produiront de plus grands effets, que les loupes de verre massif, parce que l'eau laisse passer plus aisément la lumière, que le verre le plus transparent ; mais l'exécution ne laisse pas d'en être diffi-

cile, et demande des attentions infinies. L'expérience m'a fait connoître, qu'il falloit des glaces épaisses de neuf ou huit lignes au moins, c'est-à-dire, des glaces faites exprès, car on n'en coule point aux manufactures d'aussi épaisses à beaucoup près, toutes celles qui sont dans le commerce n'ont qu'environ moitié de cette épaisseur : il faut ensuite courber ces glaces dans un fourneau, pareil à celui dont j'ai donné la figure, *pl. I et suivantes ;* avoir attention de bien sécher le fourneau, de ne point presser le feu et d'employer au moins trente heures à l'opération. La glace se ramollira et pliera par son poids, sans se dissoudre, et s'affaissera sur le moule concave, qui lui donnera sa forme : on la laissera recuire et refroidir par dégrés dans ce fourneau, qu'on aura soin de boucher, au moment qu'on aura vu la glace bien affaissée par-tout également. Deux jours après, lorsque le fourneau aura perdu toute sa chaleur, on en tirera la glace, qui ne sera que légèrement dépolie, on examinera avec un grand compas courbe, si son épaisseur est à peu près égale par-tout, et si cela n'étoit pas, et qu'il y eût dans de certaines parties de la glace une inégalité sensible, on commencera par l'atténuer avec une mo-

lette de même sphère que la courbure de la glace.

On continuera de travailler de même les deux surfaces concave et convexe, qu'il faut rendre parfaitement concentriques, en sorte que la glace ait par tout exactement la même épaisseur. Et pour parvenir à cette précision qui est absolument nécessaire, il faudra faire courber de plus petites glaces de deux ou trois pieds de diamètre, en observant de faire ces petits moules sur un rayon de quatre ou cinq lignes plus long que ceux du foyer de la grande glace; par ce moyen on aura des glaces courbes dont on se servira au lieu de molettes pour travailler les deux surfaces concave et convexe, ce qui avancera beaucoup le travail; car ces petites glaces en frottant contre la grande l'useront et s'useront également; et comme leur courbure est plus forte de 4 lignes, c'est-à-dire, de moitié de l'épaisseur de la grande glace, le travail de ces petites glaces, tant au dedans qu'au dehors, rendra concentriques les deux surfaces de la grande glace aussi précisément qu'il est possible. C'est-là le point le plus difficile, et j'ai souvent vu que pour l'obtenir on étoit obligé d'user la glace de plus d'une ligne et demie sur chaque

surface, ce qui la rendoit trop mince, et dès-lors inutile, du moins pour notre objet. Ma glace de 37 pouces, que le poids de l'eau joint à la chaleur du soleil a fait casser, avoit néanmoins, toute travaillée, plus de 3 lignes et demie d'épaisseur, et c'est pour cela que je recommande de les tenir encore plus épaisses.

J'ai observé que ces glaces courbées sont plus cassantes que les glaces ordinaires; la seconde fusion ou demi-fusion que le verre éprouve pour se courber, est peut-être la cause de cet effet, d'autant que pour prendre la forme sphérique, il est nécessaire qu'il s'étende inégalement dans chacune de ses parties, et que leur adhérence entr'elles change dans des proportions inégales, et même différentes pour chaque point de la courbe, relativement au plan horizontal de la glace qui s'abaisse successivement pour prendre la courbure sphérique.

En général le verre a du ressort, et peut plier, sans se casser, d'environ un pouce par pied, sur-tout quand il est mince; je l'ai même éprouvé sur des glaces de deux et trois lignes d'épaisseur et de cinq pieds de hauteur; on peut les faire plier de plus de quatre pouces sans les rompre, sur-tout

en ne les comprimant qu'en un sens ; mais si on les courbe en deux sens à la fois, comme pour produire une surface sphérique, elles cassent, à moins d'un demi-pouce par pied sous cette double flexion : la glace inférieure de ces lentilles à l'eau, obéissant donc à la pression causée par le poids de l'eau, elle cassera ou prendra une plus forte courbure, à moins qu'elle ne soit fort épaisse, ou qu'elle ne soit soutenue par une croix de fer, ce qui fait ombre au foyer, et rend désagréable l'aspect de ce miroir. D'ailleurs, le foyer de ces lentilles à l'eau n'est jamais franc, ni bien déterminé, ni réduit à sa plus petite étendue ; les différentes réfractions que souffre la lumière en passant du verre dans l'eau, et de l'eau dans le verre, causent une aberration des rayons beaucoup plus grande qu'elle ne l'est par une réfraction simple dans les loupes de verre massif; tous ces inconvéniens m'ont fait tourner mes vues sur les moyens de perfectionner les lentilles de verre, et je crois avoir enfin trouvé tout ce qu'on peut faire de mieux en ce genre, comme je l'expliquerai dans les paragraphes suivans.

Avant de quitter les lentilles à l'eau, je crois devoir encore proposer un moyen de

construction nouvelle qui seroit sujette à moins d'inconvéniens, et dont l'exécution seroit assez facile. Au lieu de courber, travailler et polir de grandes glaces de quatre ou cinq pieds de diamètre, il ne faudroit que des petits morceaux carrés de deux pouces, qui ne coûteroient presque rien, et les placer dans un châssis de fer traversé de verges minces de ce même métal et ajustées comme les vitres en plomb; ce châssis et ces verges de fer auxquelles on donneroit la courbure sphérique et quatre pieds de diamètre, contiendroient chacun trois cents quarante-six de ces petits morceaux de 2 pouces, et en laissant quarante-six pour l'équivalent de l'espace que prendroient les verges de fer, il y auroit toujours trois cents disques du soleil qui coïncideroient au même foyer que je suppose à dix pieds: chaque morceau laisseroit passer un disque de 2 pouces de diamètre, auquel ajoutant la lumière des parties du carré circonscrit à ce cercle de 2 pouces de diamètre, le foyer n'auroit à dix pieds que 2 pouces $\frac{1}{2}$ ou 2 pouces $\frac{3}{4}$ si la monture de ces petites glaces étoit régulièrement exécutée.

Or, en diminuant la perte que souffre la lumière en passant à travers l'eau et les dou-

bles verres qui la contiennent, et qui seroit ici à peu près de moitié, on auroit encore au foyer de ce miroir tout composé de facettes planes, une chaleur cent cinquante fois plus grande que celle du soleil. Cette construction ne seroit pas chère, et je n'y vois d'autre inconvénient que la fuite de l'eau qui pourroit percer par les joints des verges de fer qui soutiendroient les petits trapèzes de verre; il faudroit prévenir cet inconvénient en pratiquant des petites rainures de chaque côté dans ces verges et enduire ces rainures de mastic ordinaire des vitriers qui est impénétrable à l'eau.

I V.

Lentilles de verre solide.

J'ai vu deux de ces lentilles, celle du Palais-Royal, et celle du sieur Segard, toutes deux ont été tirées d'une masse de verre d'Allemagne, qui est beaucoup plus transparent que le verre de nos glaces de miroirs. Mais personne ne sait en France fondre le verre en larges masses épaisses, et la composition d'un verre transparent comme celui de Bohême, n'est connue que depuis peu d'années.

J'ai donc d'abord cherché les moyens de fondre le verre en masses épaisses, et j'ai fait en même tems différens essais pour avoir une matière bien transparente. M. de Romilly, qui dans ce tems étoit l'un des directeurs de la manufacture de Saint-Gobin, m'ayant aidé de ses conseils, nous fondîmes deux masses de verre d'environ sept pouces de diamètre sur cinq à six pouces d'épaisseur, dans des creusets, à un fourneau où l'on cuisoit de la fayence, au faubourg Saint-Antoine. Après avoir fait user et polir les deux surfaces de ces morceaux de verre pour les rendre parallèles, je trouvai qu'il n'y en avoit qu'un des deux qui fût parfaitement net. Je livrai le second morceau, qui étoit le moins parfait, à des ouvriers qui ne laissèrent pas que d'en tirer d'assez bons prismes de toute grosseur, et j'ai gardé pendant plusieurs années le premier morceau qui avoit quatre pouces et demi d'épaisseur, et dont la transparence étoit telle qu'en posant ce verre de quatre pouces et demi d'épaisseur, sur un livre, on pouvoit lire à travers très-aisément les caractères les plus petits, et les écritures de l'encre la plus blanche; je comparai le dégré de transparence de cette matière avec celle des glaces de Saint-Gobin,

prises et réduites à différentes épaisseurs; un morceau de la matière de ces glaces, de deux pouces et demi d'épaisseur, sur environ un pied de longueur et de largeur, que M. de Romilly me procura, étoit vert comme du marbre vert, et l'on ne pouvoit lire à travers; il fallut le diminuer de plus d'un pouce pour commencer à distinguer les caractères à travers son épaisseur, et enfin le réduire à deux lignes et demie d'épaisseur pour que sa transparence fût égale à celle de mon morceau de quatre pouces et demi d'épaisseur; car on voyoit aussi clairement les caractères du livre à travers ces quatre pouces et demi, qu'à travers la glace qui n'avoit que deux lignes et demie. Voici la composition de ce verre dont la transparence est si grande.

Sable blanc cristallin, *une livre.*
Minium ou chaux de plomb, *une livre.*
Potasse, *une demi-livre.*
Salpêtre, *une demi-once.*

Le tout mêlé et mis au feu suivant l'art.

J'ai donné à M. Cassini de Thury, ce morceau de verre, dont on pouvoit espérer de faire d'excellens verres de lunette achromatique, tant à cause de sa très-grande transparence que de sa force réfringente, qui

étoit très-considérable, vu la quantité de plomb qui étoit entrée dans sa composition ; mais M. de Thury ayant confié ce beau morceau de verre à des ouvriers ignorans, ils l'ont gâté au feu, où ils l'ont remis mal-à-propos; je me suis repenti de ne l'avoir pas fait travailler moi-même, car il ne s'agissoit que de le trancher en lames, et la matière en étoit encore plus transparente et plus nette que celle *flintglass* d'Angleterre, et elle avoit plus de force de réfraction.

Avec 600 livres de cette même composition, je voulois faire une lentille de 26 ou 27 pouces de diamètre et de 5 pieds de foyer. J'espérois pouvoir la fondre dans mon fourneau, dont à cet effet j'avois fait changer la disposition intérieure ; mais je reconnus bientôt que cela n'étoit possible que dans les plus grands fourneaux de verrerie, il me falloit une masse de 3 pouces d'épaisseur sur 27 ou 28 pouces de diamètre, ce qui fait environ un pied cube de verre ; je demandai la liberté de la faire couler à mes frais à la manufacture de Saint-Gobin, mais les administrateurs de cet établissement ne voulurent pas me le permettre ; et la lentille n'a pas été faite. J'avois supputé que la chaleur de cette lentille de 27 pouces seroit

à

à celle de la lentille du Palais-Royal, comme 19 sont à 6 ; ce qui est un très-grand effet, attendu la petitesse du diamètre de cette lentille, qui auroit eu 11 pouces de moins que celle du Palais-Royal.

Cette lentille, dont l'épaisseur au point du milieu ne laisse pas d'être considérable, est néanmoins ce qu'on peut faire de mieux pour brûler à 5 pieds : on pourroit même en augmenter le diamètre ; car je suis persuadé qu'on pourroit fondre et couler également des pièces plus larges et plus épaisses dans les fourneaux où l'on fond les grandes glaces, soit à Saint-Gobin, soit à Rouelle en Bourgogne ; j'observe seulement ici qu'on perdroit plus par l'augmentation de l'épaisseur qu'on ne gagneroit par celle de la surface du miroir, et que c'est pour cela que tout compensé, je m'étois borné à 26 ou 27 pouces.

Newton a fait voir que quand les rayons de lumière tomboient sur le verre, sous un angle de plus de 47 ou 48 dégrés, ils sont réfléchis au lieu d'être réfractés ; on ne peut donc pas donner à un miroir réfringent un diamètre plus grand que la corde d'un arc de 47 ou de 48 dégrés de la sphère sur laquelle il a été travaillé ; ainsi dans le

cas présent pour brûler à 5 pieds, la sphère ayant environ 32 pieds de circonférence, le miroir ne peut avoir qu'un peu plus de 4 pieds de diamètre; mais dans ce cas il auroit le double d'épaisseur de ma lentille de 26 pouces, et d'ailleurs les rayons trop obliques ne se réunissent jamais bien.

Ces loupes de verre solide sont, de tous les miroirs que je viens de proposer, les plus commodes, les plus solides, les moins sujets à se gâter, et même les plus puissans lorsqu'ils sont bien transparens, bien travaillés, et que leur diamètre est bien proportionné à la distance de leur foyer. Si l'on veut donc se procurer une loupe de cette espèce, il faut combiner ces différens objets, et ne lui donner, comme je l'ai dit, que 27 pouces de diamètre pour brûler à 5 pieds, qui est une distance commode pour travailler de suite et fort à l'aise au foyer; plus le verre sera transparent et pesant, plus seront grands les effets; la lumière passera en plus grande quantité en raison de la transparence, et sera d'autant moins dispersée, d'autant moins réfléchie, et par conséquent d'autant mieux saisie par le verre, et d'autant plus réfractée qu'il sera plus massif, c'est-à-dire, spécifiquement plus pesant: ce sera donc un

avantage que de faire entrer dans la composition de ce verre une grande quantité de plomb ; et c'est par cette raison que j'en ai mis moitié, c'est-à-dire, autant de minium que de sable. Mais quelque transparent que soit le verre de ces lentilles, leur épaisseur dans le milieu est non seulement un très-grand obstacle à la transmission de la lumière, mais encore un empêchement aux moyens qu'on pourroit trouver pour fondre des masses aussi épaisses et aussi grandes qu'il le faudroit; par exemple, pour une loupe de 4 pieds de diamètre, à laquelle on donneroit un foyer de cinq ou six pieds, qui est la distance la plus commode, et à laquelle la lumière plongeant avec moins d'obliquité, aura plus de force qu'à de plus grandes distances, il faudroit fondre une masse de verre de quatre pieds sur six pouces et demi ou sept pouces d'épaisseur, parce qu'on est obligé de la travailler et de l'user même dans la partie la plus épaisse. Or, il seroit très-difficile de fondre et couler d'un seul jet ce gros volume, qui seroit, comme l'on voit, de cinq ou six pieds cubes, car les plus amples cuvettes des manufactures de glaces ne contiennent pas deux pieds cubes ; les plus grandes glaces de 60 pouces

sur 120, en leur supposant 5 lignes d'épaisseur, ne font qu'un volume d'environ un pied cube trois quarts; l'on sera donc forcé de se réduire à ce moindre volume, et à n'employer en effet qu'un pied cube et demi, ou tout au plus un pied cube trois quarts de verre pour en former la loupe, et encore aura-t-on bien de la peine à obtenir des maîtres de ces manufactures, de faire couler du verre à cette grande épaisseur, parce qu'ils craignent, avec quelque raison, que la chaleur trop grande de cette masse épaisse de verre ne fasse fendre ou boursoufler la table de cuivre sur laquelle on coule les glaces, lesquelles n'ayant au plus que 5 lignes d'épaisseur (1), ne communiquent à la table

---

(1) On a néanmoins coulé à Saint-Gobin, et à ma prière, des glaces de sept lignes, dont je me suis servi pour différentes expériences, il y a plus de vingt ans; j'ai remis dernièrement une de ces glaces de 38 pouces en carré et de 7 lignes d'épaisseur à M. de Bernières, qui a entrepris de faire des loupes à l'eau pour l'académie des sciences, et j'ai vu chez lui des glaces de 10 lignes d'épaisseur qui ont été coulées de même à Saint-Gobin : cela doit faire présumer qu'on pourroit, sans aucun risque pour la table, en couler d'encore plus épaisses (*).

(*) Le même M. de Bernieres avoit exécuté avec beaucoup

qu'une chaleur très-médiocre en comparaison de celle que lui feroit subir une masse de six pouces d'épaisseur.

V.

Lentilles à échelons pour brûler avec la plus grande vivacité possible (1).

Je viens de dire que les fortes épaisseurs qu'on est obligé de donner aux lentilles lorsqu'elles ont un grand diamètre et un foyer court, nuisent beaucoup à leur effet ; une lentille de 6 pouces d'épaisseur dans le milieu et de la matière des glaces ordinaires.

---

(1) Voyez les *planches XIV, XV et XVI.*

de perfection, une grande lentille que l'on avoit placée au Jardin de l'Infante, il y a environ vingt ans, et qui a été cassée depuis par accident. Cette superbe lentille étoit composée de deux glaces épaisses de huit lignes, courbées en portion de sphère de huit pieds de rayon, et qui, étant jointes ensemble par leurs biseaux, faisoient entr'elles un vide de quatre pieds de diamètre, et de six pouces cinq lignes d'épaisseur au centre. Le vide étoit rempli d'esprit-de-vin, et en contenoit 140 pintes. Le foyer, dont le diamètre étoit de quinze lignes, ne se trouvoit qu'à dix pieds dix pouces du centre de la lentille. Il y a, comme l'on voit, une grande différence des effets de ce verre ardent, qui est le plus beau et le plus fort qu'on ait jamais construit, à ceux produits par les miroirs brûlans à de grandes distances, d'Archimède et de Buffon. SONNINI.

ne brûle, pour ainsi dire, que par les bords. Avec du verre plus transparent, l'effet sera plus grand, mais la partie du milieu reste toujours en pure perte, la lumière ne pouvant en pénétrer et traverser la trop grande épaisseur; j'ai rapporté les expériences que j'ai faites sur la diminution de la lumière qui passe à travers différentes épaisseurs du même verre, et l'on a vu que cette diminution est très-considérable : j'ai donc cherché les moyens de parer à cet inconvénient, et j'ai trouvé une manière simple et assez aisée de diminuer réellement les épaisseurs des lentilles autant qu'il me plaît, sans pour cela diminuer sensiblement leur diamètre et sans alonger leur foyer.

Ce moyen consiste à travailler ma pièce de verre par échelons. Supposons, pour me faire mieux entendre, que je veuille diminuer de deux pouces l'épaisseur d'une lentille de verre qui a 26 pouces de diamètre, 5 pieds de foyer et 3 pouces d'épaisseur au centre; je divise l'arc de cette lentille en trois parties, et je rapproche concentriquement chacune de ces portions d'arc, en sorte qu'il ne reste qu'un pouce d'épaisseur au centre; et je forme de chaque côté un échelon d'un demi-pouce, pour rapprocher

de même les parties correspondantes ; par ce moyen, en faisant un second échelon, j'arrive à l'extrémité du diamètre, et j'ai une lentille à échelons qui est à très-peu près du même foyer, et qui a le même diamètre, et près de deux fois moins d'épaisseur que la première, ce qui est un très-grand avantage.

Si l'on vient à bout de fondre une pièce de verre de 4 pieds de diamètre sur deux pouces et demi d'épaisseur et de la travailler par échelons sur un foyer de 8 pieds ; j'ai supputé qu'en laissant même un pouce et demi d'épaisseur au centre de cette lentille et à la couronne intérieure des échelons, la chaleur de cette lentille sera à celle de la lentille du Palais Royal, comme 28 sont à 6 sans compter l'effet de la différence des épaisseurs, qui est très-considérable et que je ne puis estimer d'avance.

Cette dernière espèce de miroir réfringent est tout ce qu'on peut faire de plus parfait en ce genre ; et quand même nous le réduirions à 3 pieds de diamètre sur 15 lignes d'épaisseur au centre et 6 pieds de foyer, ce qui en rendra l'exécution moins difficile, on auroit toujours un dégré de chaleur quatre fois au moins plus grand que

celui des plus fortes lentilles que l'on connoisse. J'ose dire que ce miroir à échelons seroit l'un des plus utiles instrumens de physique. Je l'ai imaginé il y a plus de vingt-cinq ans, et tous les savans auxquels j'en ai parlé désireroient qu'il fût exécuté. On en tireroit de grands avantages pour l'avancement des sciences; et y adaptant un héliomètre, on pourroit faire à son foyer toutes les opérations de la chimie, aussi commodément qu'on le fait au feu des fourneaux, etc.

EXPLICATION DES FIGURES

Qui représentent le fourneau dans lequel j'ai fait courber des glaces pour faire les miroirs ardens de différentes especes.

La *planche I* est le plan du fourneau, au rez-de-chaussée, où l'on voit *H K B* un vide qui sauve les inconvéniens du terre-plein sous l'âtre du fourneau; ce vide est couvert d'une voûte, comme on le verra dans les figures suivantes.

E R les cendriers, disposés en sorte que l'ouverture de l'un est dans la face où se trouve le vent de l'autre.

L L deux contre-forts qui affermissent la maçonnerie du fourneau.

M M deux autres contre-forts, dont l'usage est le même que celui de ceux ci-dessus, et qui n'en diffèrent que parce qu'ils sont un peu arrondis.

G G G G plans de quatre barres de fer qui affermissent le fourneau, ainsi qu'il sera expliqué ci-après.

La *planche II* est l'élévation d'une des faces parallèles à la ligne *C D* du plan précédent.

H K l'ouverture pratiquée dans l'âtre du fourneau, afin qu'il ne s'y trouve point d'humidité.

C C la bouche ou grande ouverture du fourneau.

A la petite ouverture pratiquée dans la face opposée, laquelle est toute semblable à celle que la *même*

planche représente, à cette différence près, que l'ouverture est plus petite.

M m un des contre-forts arrondis, à côté duquel on voit le vent.

R ouverture par où l'air extérieur passe sous la grille du foyer.

E le cendrier, *N* le foyer, *P* la porte qui le ferme.

L l un contre-fort carré.

G O, *G O* deux des barres de fer scellées en terre, et qui sont unies à celles qui sont posées à l'autre face par les liens de fer *D*, ainsi que l'on verra dans une des figures suivantes.

O O deux barres de fer qui unissent ensemble les deux barres *G O*, *G O*, et retiennent la voûte de l'ouverture *CC* qui est bombée.

m D B D l la voûte commune du fourneau et des foyers, dont la figure est ellipsoïde, l'arrangement des briques et autres matériaux qui composent le fourneau, se connoît aisément par la figure.

La *planche III* est la vue extérieure du fourneau, par une des faces parallèles à la ligne *A B* du plan.

L L, *M M* contre-forts.

H K extrémités de l'ouverture sous l'âtre du fourneau.

A la petite ouverture, *C* la grande.

G O D, *G O D* les barres de fer dont on a parlé, qui sont unies ensemble par le lien *D D*.

Les liens *D D* couchés sur la voûte *D B D*, sont unis ensemble par un troisième lien de fer.

P est la porte de fer qui ferme le foyer.

Les figures précédentes font connoître l'extérieur

du fourneau. L'intérieur, plus intéressant, est représenté dans les planches suivantes.

La *planche IV* est une coupe horizontale du fourneau par le milieu de la grande bouche.

X est l'âtre que l'on a rendu concave sphérique.

EE les deux grilles qui séparent le foyer du cendrier, et sur lesquelles on met le charbon; on a supposé que la voûte étoit transparente, pour mieux faire voir la direction des barreaux qui composent les grilles.

A la petite ouverture, *CC* la grande.

DD les marges, *LM*, *LM* les contre-forts.

La *planche V* est la coupe verticale du fourneau, suivant la ligne *CD* du plan, ou selon le grand axe de l'ellipsoïde dont la voûte a la figure.

Z le vide sous l'âtre du fourneau.

GXK cavité sphérique pratiquée dans l'âtre du fourneau, et sur laquelle la glace *GK*, qui a été arrondie et posée, et dont elle doit prendre exactement la figure, après qu'elle aura été ramollie par le feu.

FF les grilles ou foyers au-dessous desquelles sont les cendriers.

DD les marges qui empêchent les bords de la glace du côté des foyers, d'être trop tôt atteints par le feu.

CBC la voûte, *CC* lunettes que l'on ouvre ou ferme à volonté en les couvrant d'un carreau de terre cuite, *LM* contre-forts.

La *planche VI* représente la coupe du fourneau par un plan vertical qui passe par la ligne *AB* du plan.

HKL le vide sous l'âtre du fourneau.

GXK cavité sphérique pratiquée dans l'âtre du fourneau, et sur laquelle la glace *X* est déjà appliquée.

DD une des marges, *P* la grande ouverture, *Q* la petite, *CCC* lunettes.

CBC la voûte coupée transversalement ou selon le petit axe de l'ellipsoïde. On jugera de la grandeur de chaque partie de ce fourneau, par les échelles qui sont au bas de chaque figure, qui ont été exactement levées sur le fourneau qui étoit au Jardin royal des plantes, par M. Gouffier.

Grand miroir de réflexion, appelé miroir d'Archimède.

Planche VII, figure 1.

Ce miroir est composé de trois cents soixante glaces montées sur un châssis de fer *CDEF*, chaque glace est mobile pour que les images réfléchies par chacune, puissent être renvoyées vers le même point, et coïncider dans le même espace.

Le châssis qui a deux tourillons, est porté par une pièce de fer composée de deux montans *MB*, *LA*, assemblés à tenons et mortoises dans la couche *ZO*; ils sont assujettis dans cette situation par la traverse *ab*, et par trois étais à chacun *NP*, *QP*, *OP*, fixés en *P* dans le corps du montant *MB*, et assemblés par le bas dans une courbe *NOQ*, qui leur sert d'empattement ; ces courbes ont des entailles *NQ*, *IU* qui reçoivent des roulettes, au moyen desquelles cette machine, quoique fort pesante, peut

tourner librement sur le plancher de bois *X X Y* étant assujettie au centre de cette plate-forme par l'axe *RS* qui passe dans les deux traverses *Z O*, *a b*; chaque montant porte aussi à sa partie inférieure une roulette, en sorte que toute la machine est portée par dix roulettes; la plate-forme de bois est recouverte de bandes de fer dans la rouette des roulettes; sans cette attention la plate-forme ne seroit pas de longue durée.

La plate-forme est portée par quatre fortes roulettes de bois, dont l'usage est de faciliter le transport de toute la machine d'un lieu à un autre.

Pour pouvoir varier à volonté les inclinaisons du miroir, et pouvoir l'assujettir dans la situation que l'on juge à propos, on a adapté la cremaillière *F G* qui est unie avec des cercles, dont le tourillon *B* est le centre; cette cremaillière est menée par un pignon en lanterne, dont la tige *b H* traverse le montant et un des étais, et est terminée par une manivelle *H K*, au moyen de laquelle on incline ou on redresse le miroir à discrétion.

Jusqu'à présent nous n'avons expliqué que la construction générale du miroir; reste à expliquer par quel artifice on parvient à faire que les images différentes, réfléchies par les différens miroirs, sont toutes renvoyées au même point, et c'est à quoi sont destinées les figures suivantes.

Planche VIII, figure 2.

X Z une portion des barres qui occupent le derrière du miroir; ces barres sont au nombre de vingt, et disposées horizontalement, en sorte que leur plan

est parallèle au plan du miroir ; chacune de ces barres a dix-huit entailles *T T*, et le même nombre d'éminences *V V* qui les séparent : ces barres sont assujetties aux côtés verticaux du châssis du miroir par des vis, et entr'elles par trois ou quatre barres verticales, auxquelles elles sont assujetties par des vis; vis-à-vis de chaque entaille *T T* il y a des poupées *T A*, *T D* qui y sont fixées par les écrous *G A* qui prennent la partie taraudée de la queue de la poupée après qu'elle a traversé l'épaisseur de la barre; les parties supérieures de chaque poupée, qui sont percées, servent de collets aux tourillons de la croix dont nous allons parler; cette croix représentée *figures 3 et 5*, est un morceau de cuivre ou de fer, dont la figure fait connoître la forme.

C D les tourillons qui entrent dans les trous pratiqués à chaque poupée, en sorte qu'elle se peut mouvoir librement dans ces trous.

La vis *M L* après avoir traversé l'éminence *V*, va s'appuyer en-dessous contre l'extrémité inférieure *B* du croisillon *B A*, en même tems le ressort *K* va s'appliquer contre l'autre extrémité *A* du même croisillon; en sorte que lorsque l'on fait tourner la vis en montant, le ressort en se rétablissant, fait que la partie *B* du croisillon se trouve toujours appliquée sur la pointe de la vis : il résulte de cette construction un mouvement de ginglime ou charnière, dont l'axe est *B C*, *figure* 2.

Ce seul mouvement ne suffisant pas, on en a pratiqué un autre, dont l'axe de mouvement croise à angle droit le premier.

Aux deux extrémités *A* et *B* du croisillon *A B*,

on a adapté deux petites poupées *B H*, *A K*, *figure 5*, retenues comme les précédentes par des vis et des écrous.

Les trous *H K* qui sont aux parties supérieures de ces poupées, reçoivent les tourillons *D C*, *figure 4*, d'une plaque de fer que nous avons appelée *porte-glace*, qui peut se mouvoir librement sur les poupées, et s'incliner à l'axe *C D* du premier mouvement par le moyen de la vis *F G*, pour laquelle on a réservé un bossage *E* dans le croisillon *A B*, afin de lui servir d'écrous dormans; cette vis s'applique par *E* contre la partie *D B C* du porte-glace, et force cette partie à monter lorsqu'on tourne la vis; mais lorsqu'on vient à lâcher cette vis, le ressort *A L* qui s'applique contre la partie *D A C* du porte-glace, le force à suivre toujours la pointe de la vis: au moyen de ces deux mouvemens de ginglime, on peut donner à la glace qui est reçue par les crochets *A C B* du porte-glace, telle direction que l'on souhaite, et par ce moyen faire coïncider l'image du soleil, réfléchie par une glace, avec celle qui est réfléchie par une autre.

Planche IX.

La *figure* 6 représente le porte-glace vu par derrière, où l'on voit la vis *F E G* qui s'applique en *G* hors de l'axe de mouvement *H K*, et le ressort *L* qui s'applique en *L* de l'autre côté de l'axe de mouvement.

La *figure* 7 représente le porte-glace vu en dessus, et garni de la glace *A C B D*, le reste est expliqué dans les autres figures.

Miroir de réflexion rendu concave par la pression d'une vis appliquée au centre.

Planche x.

La *figure* 1 représente le miroir monté sur son pied, *B D C* la fourchette qui porte le miroir; cette fourchette est mobile dans l'axe vertical, et est retenue sur le pied à trois branches *F F F* par l'écrou *G*.

D E le régulateur des inclinaisons.

A la tête de la vis placée au centre du miroir, et rendu concave par son moyen.

La *figure* 2 représente le miroir vu par sa partie postérieure, *B C* les tourillons qui entrent dans les collets de la fourchette.

F G une barre de fer fixée sur l'anneau de même métal, qui entoure la glace : cette barre sert de point d'appui à la vis *D E* qui comprime la glace.

B H C K l'anneau ou cercle de fer sur lequel la glace est appliquée ; ce cercle doit être exactement plan et parfaitement circulaire : on couvre la partie sur laquelle la glace s'applique avec de la peau, du cuir ou de l'étoffe, pour que le contact soit plus immédiat, et que la glace ne soit point exposée à rompre.

Miroir de réflexion rendu concave par la pression de l'atmosphère.

Planche x i.

Ce miroir consiste en un tambour ou cylindre, dont une des bases est la glace, et l'autre une plaque de fer.

A B,

AB, *figure* 1, la glace parfaitement plane, *C* une lentille taillée dans l'épaisseur même de la glace.

AE ou *BM* la hauteur du cylindre aux extrémités du diamètre horizontal *TL*, duquel sortent deux tourillons qui entrent dans les yeux de la fourchette, ainsi qu'il est expliqué en parlant du miroir de réfraction.

MO le régulateur des inclinaisons.

N le collet par lequel il passe et la vis qui sert à l'y fixer.

NRSPQ le pied qui est semblable à celui du miroir de réfraction, à cette différence près, qu'il est de bois, et que les pièces ont un contour moins orné, du reste sa fonction est la même.

Figure 2 est le profil du miroir coupé par un plan qui passe par l'axe du cylindre, et auquel on suppose que l'œil est perpendiculaire.

AB la glace dont on voit l'épaisseur.

C la lentille qui y est entaillée et dont le foyer tombe sur le point *c*.

ED la base du cylindre qui est une plaque de fer.

AE, *BD* la hauteur et la coupe de la surface cylindrique.

c m une mèche soufrée que l'on fait entrer dans la cavité du miroir après avoir ôté la vis *K* dont l'écrou est un cube solidement attaché à la plaque de fer qui sert de fond au miroir.

G la même vis représentée séparément, *H* une rondelle de cuir que l'on met entre la tête de la vis et son écrou pour fermer entièrement le passage à l'air.

a b c la courbure que la glace prend après que l'air que le cylindre contient, a été consommé par la flamme de la bougie *c m*, à laquelle la lentille *C* a mis le feu.

D F le régulateur des inclinaisons qui est assemblé à charnière au point *D*.

E m K, *K m D*, règles de fer posées de champ sur la base du cylindre et qui sont fortement assujetties; leur usage est pour fortifier la plaque et la mettre en état de résister au poids de l'atmosphère, qui la comprime aussi bien que la glace; cette construction est représentée dans une autre figure, *planche* XII.

Autre miroir de réflexion.

Planche XII.

IL consiste aussi en un cylindre ou tambour de fer, dont une des bases est une glace parfaitement plane; la base opposée, et qui est celle que la *figure* 1 présente, est une plaque de fer qui est fortifiée par les règles de fer posées de champ *E G*, *F H*, *E K*. On vide l'air que le cylindre contient par la pompe *B C*, qui est affermie sur la plaque de fer par les collets *x x*.

A l'extrémité supérieure du piston.

E un cube de cuivre solidement fixé sur la plaque; ce cube est porté en travers pour recevoir le robinet *F*, au moyen duquel on ouvre ou on ferme la communication de l'intérieur du cylindre avec la pompe.

L M, *m n* la fourchette sur laquelle le miroir est monté et qui est mobile dans l'arbre *M O*.

MPRQ le pied qui a seulement trois branches, ce qui fait qu'il porte toujours à plomb, même sur un plan inégal.

La *figure* 2 représente le miroir coupé, suivant la ligne *GH*, et duquel on suppose que l'on a pompé l'air.

XVZ la glace que la pression de l'atmosphère a rendue concave.

HG la plaque de fer qui sert de fond au cylindre.

LN les tourillons.

FE le robinet.

EG, *FH* les règles de champ qui maintiennent la plaque.

Les *figures* 3 *et* 4 représentent en grand la coupe du cube dans lequel passe le robinet, ce cube est supposé coupé par un plan perpendiculaire à la plaque et qui passe par la pompe.

c partie du canal coudé pratiqué dans le cube qui communique à l'intérieur du miroir.

b portion du même canal qui communique à la pompe.

a le robinet qui se trouve coupé perpendiculairement à son axe.

La *figure* 3 représente la situation du robinet lorsque la communication est ouverte, la portion *m* du canal se présente vis-à-vis les ouvertures *b*, *c*.

La *figure* 4 représente la situation du robinet, lorsque la communication est fermée, alors la partie *m* du canal ne se présente plus vis-à-vis les mêmes ouvertures.

Lentille à l'eau.

Planche XIII.

Figure 1. Le miroir entier monté sur son pied.

A B M C le miroir composé de deux glaces convexes, assujetties l'une contre l'autre par le châssis ou cadre circulaire *A B M C.*

B C extrémités de la fourchette de fer qui porte ce miroir. Les extrémités de cette fourchette sont percées d'un trou cylindrique pour recevoir les tourillons dont le châssis du miroir est garni et sur lesquels il se meut pour varier les inclinaisons.

B K B la fourchette.

K F i G H le pied qui porte le miroir; il est composé de plusieurs pièces.

K L l'arbre ou poinçon qui s'appuie par sa partie inférieure sur la croix *H I, F G*; il est fixé dans la situation verticale par les quatre étais ou jambes de force *K G, K H, K F, K I* qui sont de fer et auxquelles on a donné un contour agréable.

f g h i les roulettes.

Figure 2. Coupe ou profil du miroir dans laquelle on suppose que l'œil est placé dans le plan qui sépare les deux glaces.

X Z les deux glaces qui étant réunies forment une lentille.

o r le plan qui sépare les deux glaces.

b m coupe du châssis ou anneau qui retient les glaces unies ensemble; cet anneau est composé de deux pièces qui s'assujettissent l'une à l'autre par des vis, entre lesquelles les glaces sont mastiquées.

a une petite bouteille à deux cols, l'un desquels

communique au vide que les deux glaces laissent entre elles par un canal pratiqué entre les deux glaces et qui est entaillé moitié dans l'une et moitié dans l'autre.

Figure 3. *B D C* la fourchette de fer qui porte le miroir.

D E tige de la fourchette qui entre dans un trou vertical pratiqué à l'axe ou arbre *K L* du pied, en sorte que l'on peut présenter successivement la face du miroir à tous les points de l'horizon.

D collet dans lequel passe le régulateur des inclinaisons que l'on y fixe par une vis.

Lentille à échelons.

Planche XIV.

A B bordure circulaire pour contenir ce miroir à échelons.

C C tourillons qui passent dans les trous percés horizontalement à la partie supérieure de la fourchette *D D*; à sa partie inférieure, tient une tige aussi de fer, que l'on ne voit point ici, étant entrée perpendiculairement, mais un peu à l'aise dans l'arbre *E* afin de pouvoir tourner à droite et à gauche.

L'arbre *E* est attaché solidement à son pied, qui est fait en croix, dont on ne peut voir ici que trois de ses côtés indiqués *F F F.*

G G G jambages de force ou étais de fer pour la solidité.

H H H roulettes dessous les pieds pour ranger facilement ce miroir à la direction que l'on juge à propos.

La *planche XV* représente ce même miroir à éche-

lons en perspective, tourné vers le soleil pour mettre le feu.

A B bordure circulaire qui contient la glace à échelons.

C C tourillons qui passent dans les trous percés à la partie supérieure de la fourchette *D D*.

A la partie inférieure de la fourchette, qui est de fer, tient une tige cylindrique de même métal qui entre juste dans l'arbre; mais non trop serrée pour qu'elle puisse avoir un jeu doux, propre à pouvoir tourner à droite ou à gauche pour la diriger comme on le désire.

E l'arbre dans lequel entre cette tige.

F F F F les quatre pieds en croix sur laquelle est attaché solidement l'arbre.

G G G G les quatre jambes de force, aussi de fer.

H le feu actif tiré du soleil par la construction de ce miroir.

I I I roulettes de dessous les pieds du porte-miroir.

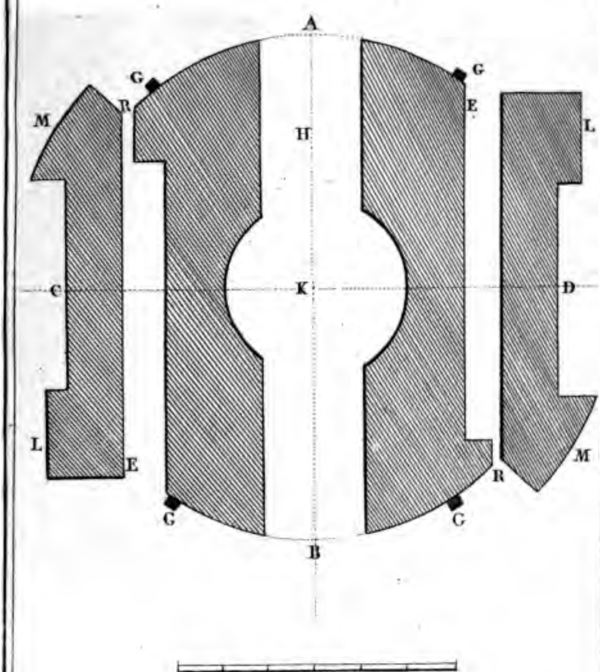
La *planche XVI* représente les coupes de trois miroirs à échelons, dont le plus facile à exécuter seroit celui de la *figure* 1. Leur échelle est de six pouces de pied-de-roi pour pied-de-roi.

Fin du cinquième Volume.

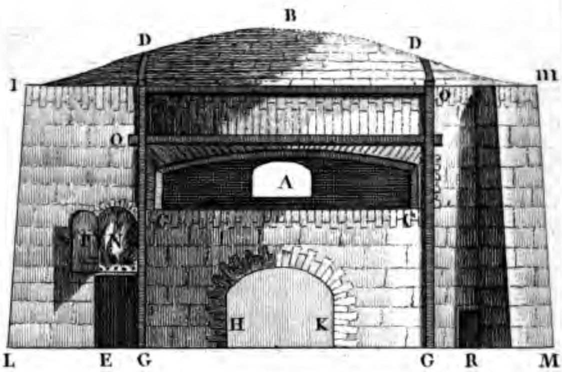
TABLE

De ce qui est contenu dans ce cinquième volume.

Fin de la Table.

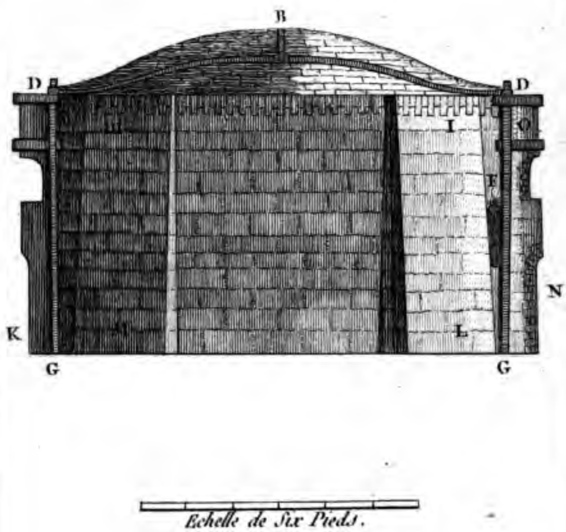


Echelle de Six Pieds.



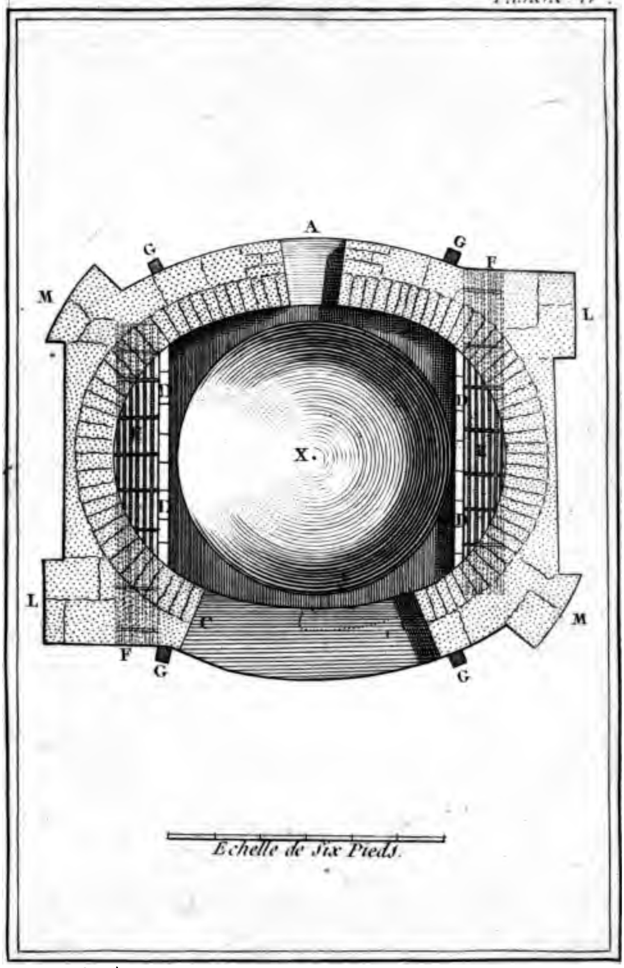
Echelle de Six Pieds

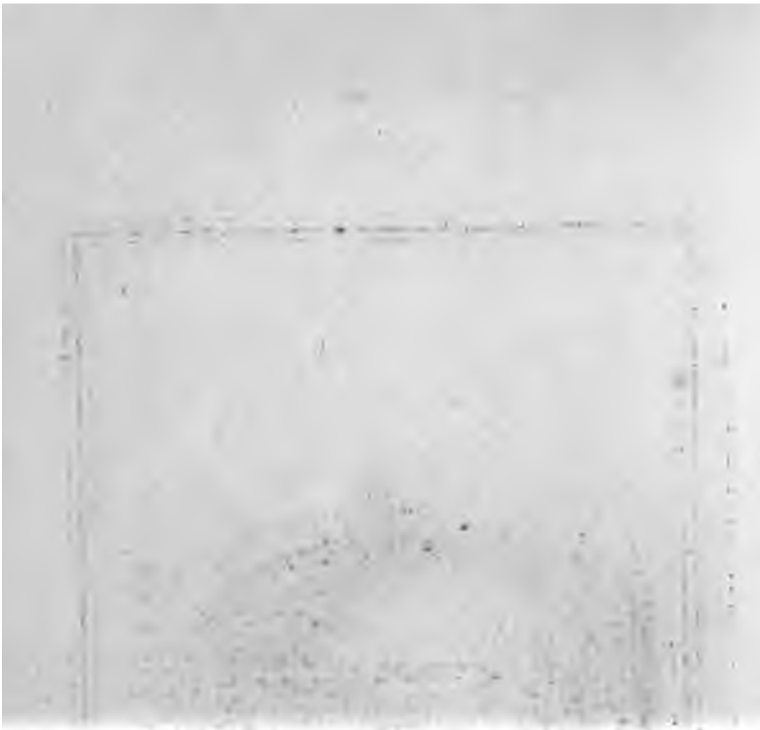
Planche III.

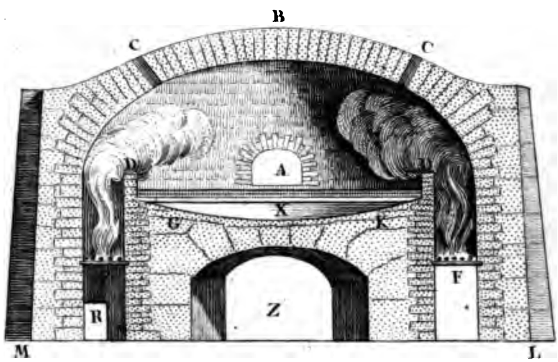


Echelle de Six Pieds.

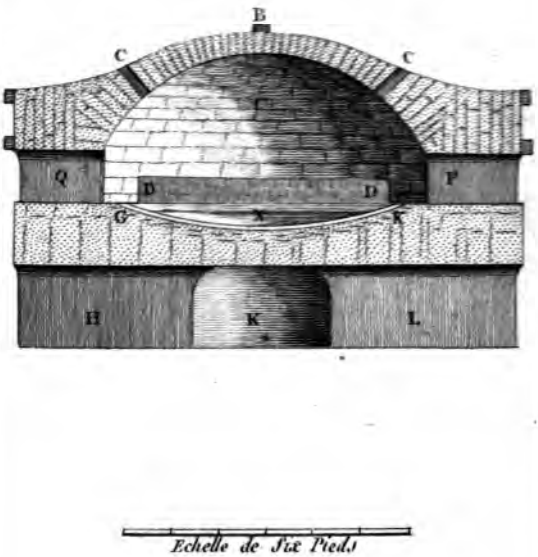
Planche IV.



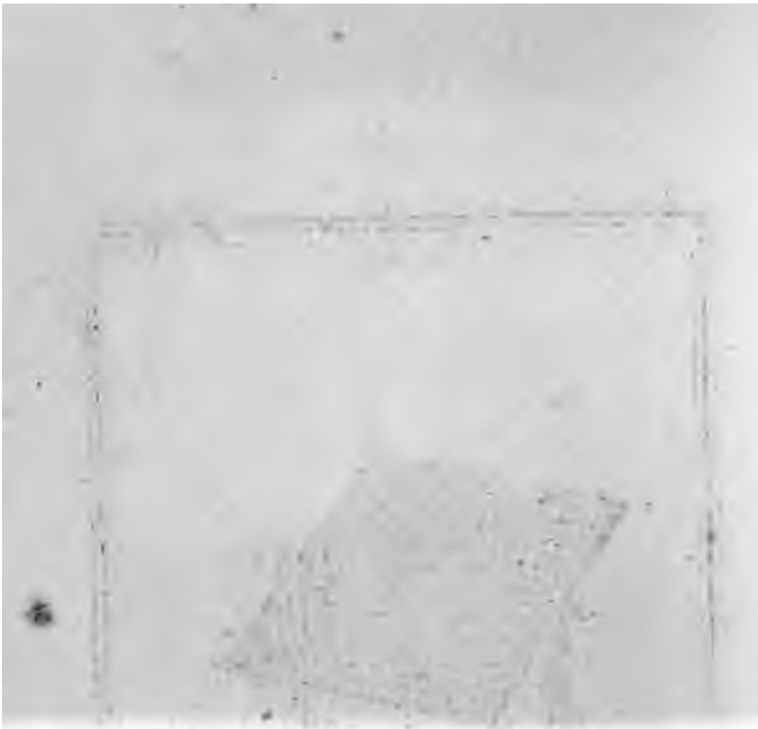




Echelle de Six Pieds



Echelle de Six Pieds



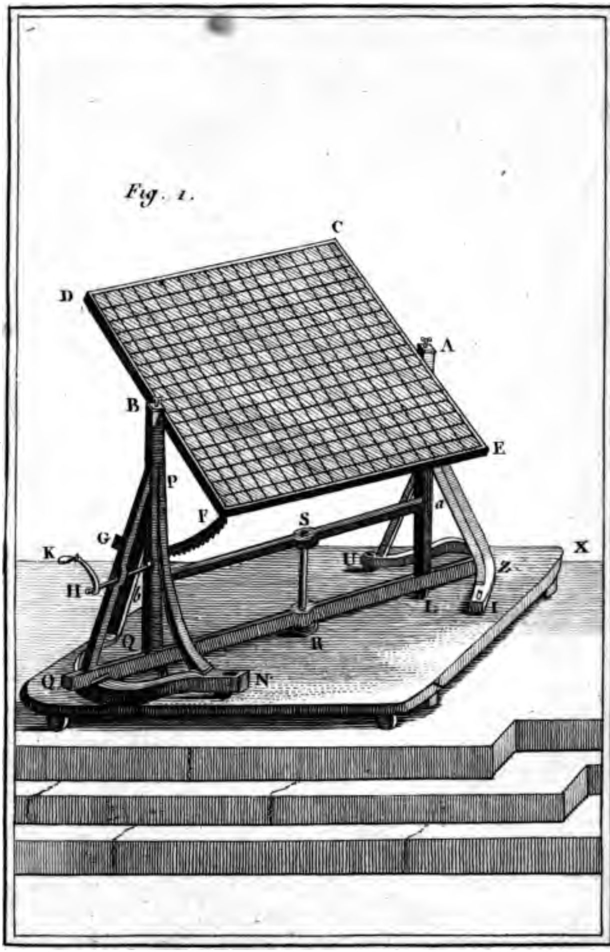

Fig. 1.
C
D
A
B
E
P
F
S
G
K
X
U
Z
H
L
I
Q
R
Q
N

Fig. 2.

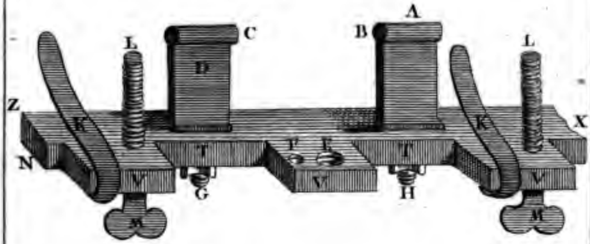


Fig 4

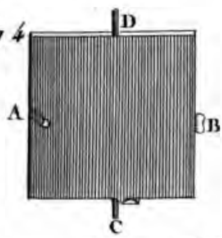
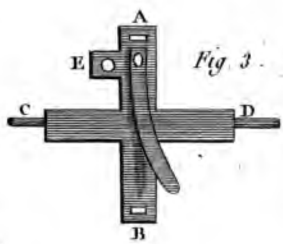


Fig. 3.



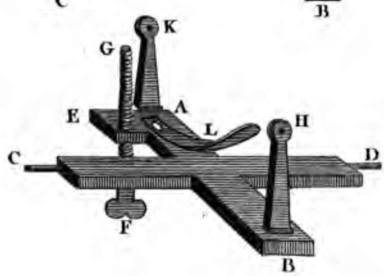


Fig. 6.

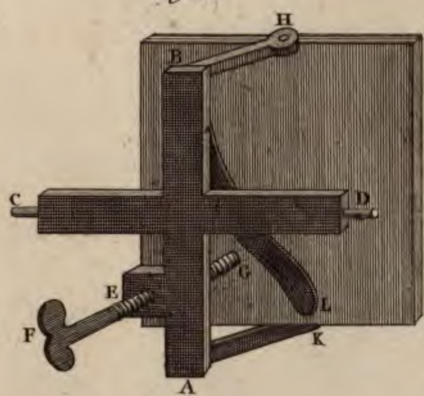


Fig. 7

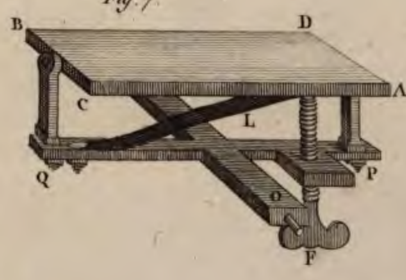


Planche. X.



Planche . XI.

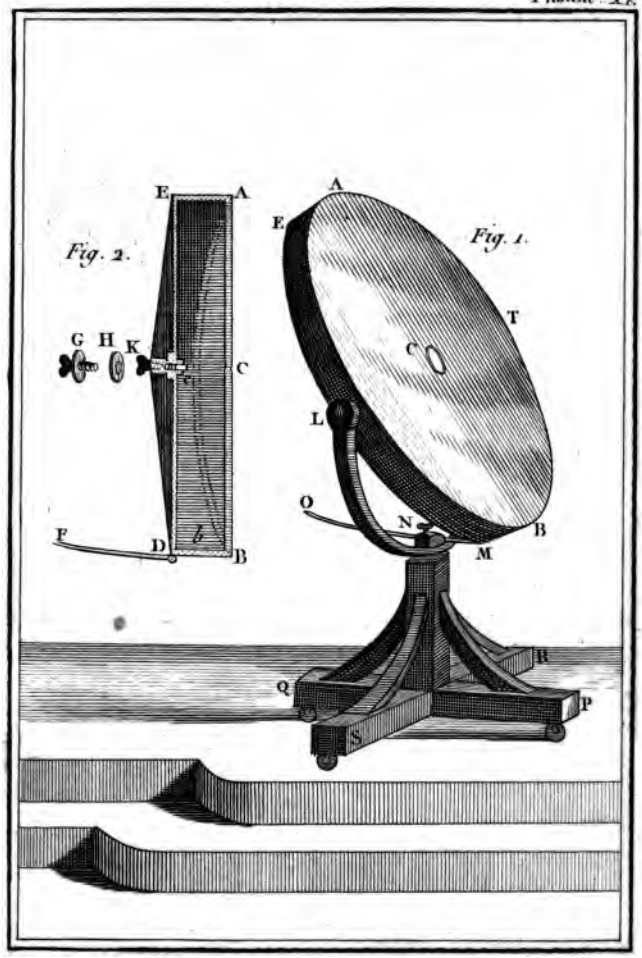
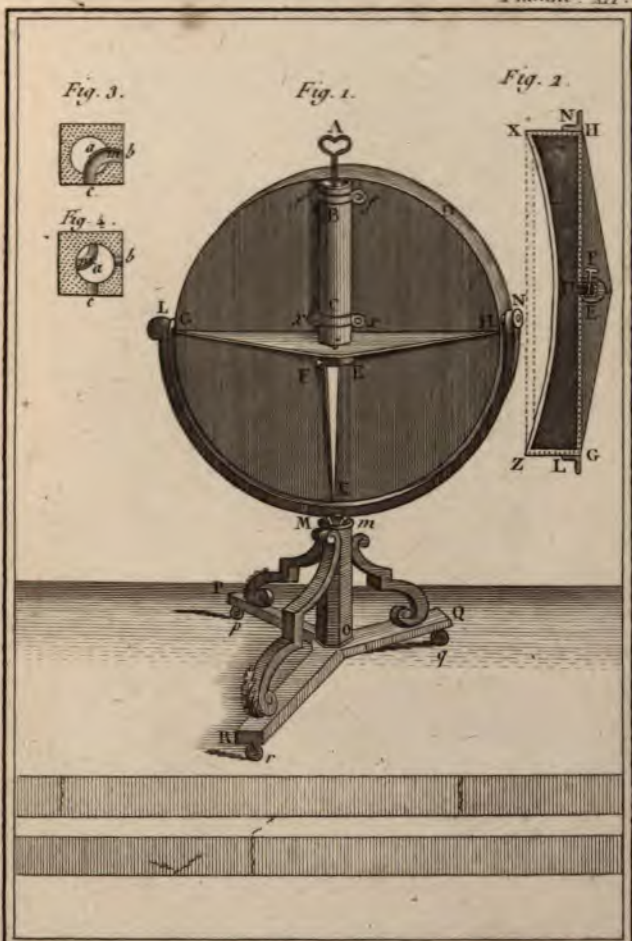
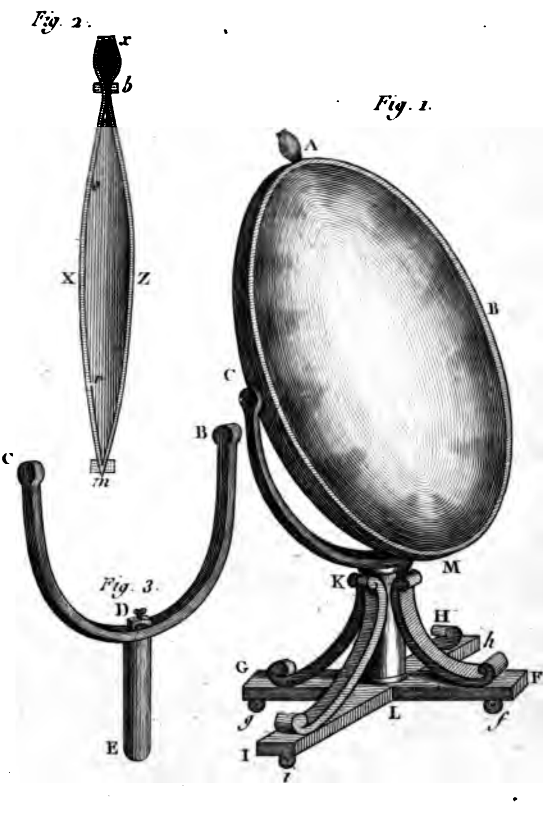


Planche. XII.




Fig. 2.
x
b
X
Z
m
Fig. 1.
A
B
C
M
K
H
h
G
F
g
L
f
I
i
Fig. 3.
C
B
D
E

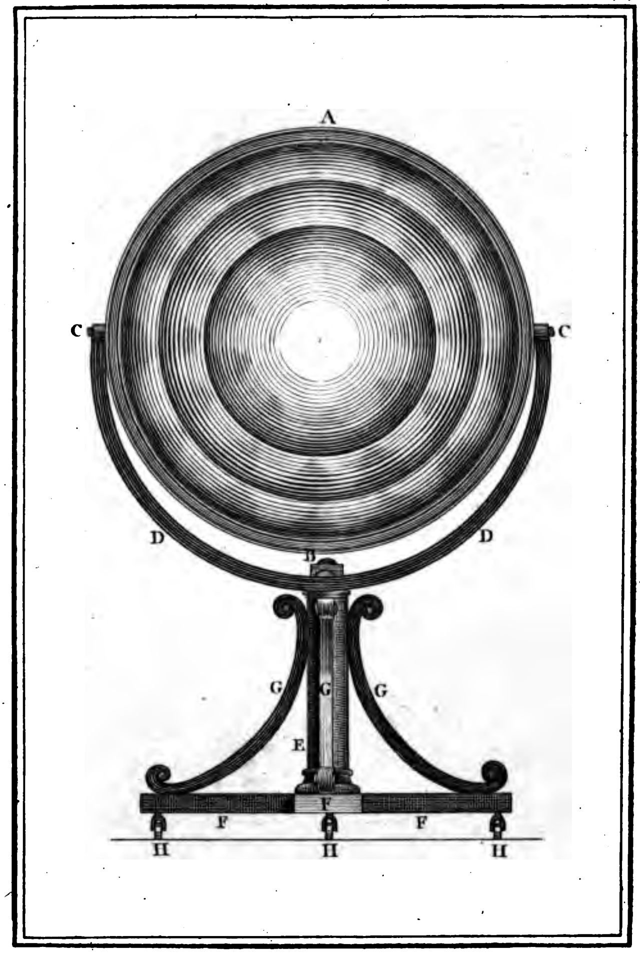

A
C
C
D
D
B
G
G
G
E
F
F
F
H
H
H

Planche . XV.

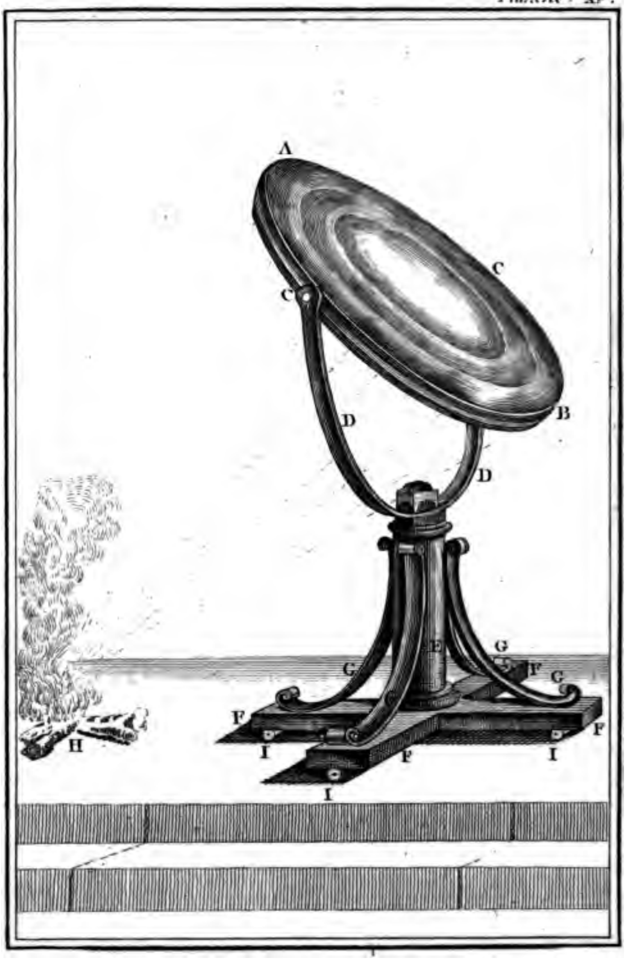


Planche. 16.

Fig. 1.
6. Pieds de Foyer.



Fig. 2.
8. Pieds de Foyer.

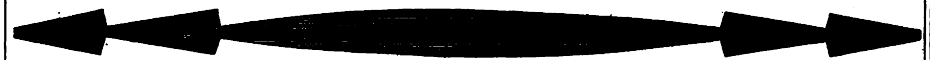


Fig. 3.



Echelle de deux Pieds

